



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

**SENZOR PRO DLOUHODOBOU KONTROLU KVALITY
POTRAVIN**

SENSOR FOR LONG-TERM CONTROL OF FOOD QUALITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Róbert Navara

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Adámek, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Róbert Navara

ID: 189522

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Senzor pro dlouhodobou kontrolu kvality potravin

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se základy správné výrobní a prodejní praxe potravin a faktory ovlivňujícími zdravotní nezávadnost a životnost potravin. Získejte informace o technologiích používaných pro snímání zdravotní nezávadnosti potravin se zaměřením na senzory a technologie využívané v praxi. Nastudujte vlastnosti mikrokontroléru řady Espressif ESP32 a jeho programování.

Realizujte jednoduchou senzorovou kartu s mikrokontrolérem řady Espressif ESP32 pro dlouhodobé monitorování kvality potravin pomocí senzoru určeného vedoucím práce. Proveďte experimentální měření pro ověření funkčnosti vzorku. Zhodnoťte Váš návrh a jeho výhody a nevýhody pro další testování.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 3.6.2021

Vedoucí práce: Ing. Martin Adámek, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Závěrečná práce je zaměřená na problémy spojené s trvanlivostí potravin a jejich monitorování. První část práce se zabývá potravinářskými podniky, systémem HACCP který tyto podniky používají a principem jeho tvorby. Následující kapitola se zabývá faktory ovlivňujícími na zdravotní nezávadnost masa jeho trvanlivostí. Část technologií používaných pro snímání zdravotní nezávadnosti balených potravin se zaměřuje na popis různých senzorů a technologií využívaných v praxi pro tyto účely. Dále jsou rozoberané mikrokontroléry ESP32 a jejich využití pro senzorové karty. V praktické části je realizovaná deska plošných spojů osazenou mikrokontrolérem ESP32, senzorem vlhkosti a teploty HDC1080 a senzorem MiCS-6814 pro snímání koncentrací amoniaku vylučovaného masem, která jako celek spolu s navrhnutým firmvérem a softvérem funguje jako senzorová karta, která je schopná měřit, ukládat a exportovat data na základě konfigurace uživatele.

Klíčová slova

ESP32, amoniak, senzorový tag, zdravotní nezávadnost potravin, HACCP

Abstract

This final thesis focuses on the problems related to the lifespan of food and its monitoring. The first chapter is focused on the food businesses and on the creation of system HACCP which those businesses need to implement. Next chapter talks about factors which have the biggest impact on the lifespan of meat. The chapter about technologies used for monitoring of health safety of food talks about most used and most viable sensing tags used for this purpose. The following chapter describes microcontroller ESP32, its pros, its cons and its programmability. The practical part revolves around the realization of a printed circuit board, fitted with a microcontroller ESP32, a relative humidity and temperature sensor HDC1080 and an ammonia sensor MiCS-6814, which as a whole along with designed firmware and software work as a sensor tag, which is capable of measuring, saving and exporting data based on a configuration of an user.

Keywords

ESP32, ammonia, sensor tag, health safety of food, HACCP

Bibliografická citace

NAVARA, Róbert. *Senzor pro dlouhodobou kontrolu kvality potravin*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134679>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Martin Adámek.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Róbert Navara</i>
VUT ID studenta:	<i>189522</i>
Typ práce:	<i>Bakalářská práce</i>
Akademický rok:	<i>2020/21</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Senzor na kontrolu správné výrobní a prodejní praxe potravin</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **03. června 2021**

.....
podpis autora

Poděkování

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Martinovi Adámkovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc, doporučenú prínosnej literatúry a poskytnutie cenných rád pri spracovaní mojej bakalárskej práce. Ďalej by som chcel poďakovať Pavle Janošíkovej za neustálu podporu počas vypracovávania bakalárskej práce a počas celého štúdia. V poslednom rade by som chcel poďakovať spolužiakovi Marošovi Mackovi za poskytnutie svojej pomoci pri osadzovaní dosky plošných spojov.

V Brně dne: **03. června 2021**

.....
podpis autora

OBSAH

ÚVOD.....	15
1. SPRÁVNA HYGIENICKÁ A VÝROBNÁ PRAX	16
1.1 HYGIENICKÁ PRAX	16
1.2 SYSTÉM HACCP.....	17
1.2.1 Princíp tvorby HACCP.....	17
1.2.2 Vymedzenie činností.....	17
1.2.3 Informácie o potravinách	17
1.2.4 Identifikácia zamýšľaného použitia	18
1.2.5 Zostavenie prúdového diagramu.....	18
1.2.6 Potvrdenie prúdového diagramu na mieste	18
1.2.7 Analýza nebezpečia	18
1.2.8 Stanovenie kritických bodov (CCP).....	18
1.2.9 Stanovenie kritických medzí.....	18
1.2.10 Monitoring	19
1.2.11 Stanovenie nápravných opatrení	19
1.2.12 Overovacie postupy	19
1.2.13 Dokumentácia a vedenie záznamov	19
1.2.14 Školenie.....	20
2. CHARAKTERISTIKA MÄSA.....	21
2.1 SVALSTVO A JEHO HISTOLOGICKÁ STAVBA.....	22
2.2 PROCES ZRENIA MÄSA A ZMENY JEHO TECHNOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ	23
2.3 CHLADIARENSKÉ USKLADNENIE MÄSA.....	25
3. TECHNOLÓGIE PRE MONITOROVANIE ZDRAVOTNEJ NEZÁVADNOSTI POTRAVIN.....	28
3.1 SMART BALENIE.....	28
3.2 OPTICKÉ MENIČE.....	28
3.3 RFID SENZORY	28
4. VARIANTY SENZOROV PRE SENZOROVÉ TAGY	31
4.1.1 Elektrochemické senzory	31
4.1.2 Vodivostné senzory (chemorezistory).....	32
4.1.3 Kapacitné senzory (chemokapacity).....	33
4.1.4 Chemodiody.....	33
4.1.5 Chemotranzistory.....	34
4.1.6 Senzory SAW.....	34
5. MIKROKONTROLÉR ESP32.....	35
5.1 VZNIK A VÝHODY ESP32	35
5.2 REŽIMY MODULU ESP32	36
5.3 RTC – HODINY REÁLNEHO ČASU.....	37
5.4 A/D PREVODNÍK	37
5.4.1 Rozlíšenie A/D prevodníku.....	38
5.5 PAMÄŤ FLASH ESP32	40
5.6 PROGRAMOVACIA PLATFORMA PRE ESP32.....	40

6. NÁVRH A REALIZÁCIA PROTOTYPU TAGU PRE MONITOROVANIE POTRAVÍN S ESP32	41
6.1 POUŽITÝ HARDVÉR A JEHO VÝZNAM V OBVODE	43
6.1.1 Blok napájania	43
6.1.2 Prevodník Buck/Boost	43
6.1.3 Nabíjací obvod pre znovu dobíjací zdroj	44
6.1.4 UART most	45
6.1.5 Senzor MiCS-6814	46
6.1.6 Senzor teploty a relatívnej vlhkosti HDC1080	49
6.2 REALIZÁCIA SENZOROVÉHO TAGU	50
7. NAVRHNUTÝ SOFTVÉR A FIRMVÉR.....	52
7.1 FIRMVÉR	52
7.1.1 Setup.....	52
7.1.2 Synchronizácia a zaznamenávanie času	52
7.1.3 Funkcie zadávania parametrov merania	53
7.1.4 Funkcia merania a ukladania hodnôt do pamäte ESP32.....	53
7.1.5 Export dát z pamäte pre spracovanie	55
7.1.6 Hlavná slučka programu	55
7.1.7 Vývojový diagram programu	56
7.2 SOFTVÉR PRE SPRACOVANIE NAMERANÝCH DÁT A JAZYK C#	57
7.2.1 Jazyk C#	57
7.2.2 Navrhnutý softvrér pre spracovanie nameraných dat.....	59
7.3 SMARTFÓNOVÁ APLIKÁCIA PRE OVLÁDANIE SENZOROVÉHO TAGU	60
8. PREVEDENIE EXPERIMENTU.....	61
9. ZÁVER.....	65
LITERATÚRA.....	67
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK	70
ZOZNAM PRÍLOH.....	72

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1: Rez kostrovým svalom a priečne pruhovaná kostrová svalovina. Prevzaté z [6]	22
Obrázok 2: Závislosť trvanlivosti kuracieho mäsa na teplote skladovania. Prevzaté z [8]	26
Obrázok 3: Koncept pasívnych bezdrôtových senzorových systémov pre monitoring balených potravín. Prevzaté z [9]	29
Obrázok 4: Štruktúra elektrochemického senzoru. Na základe [11]	31
Obrázok 5: Komerčný senzor na meranie plynov na báze vodivostného senzoru. Prevzaté z [12]	32
Obrázok 6: Štruktúra vodivostného senzoru. Prevzaté z [12]	32
Obrázok 7: Štruktúra kapacitného senzoru. Prevzaté z [12]	33
Obrázok 8: Štruktúra chemodiody. Prevzaté z [12]	33
Obrázok 9: Štruktúra chemorezistoru. Prevzaté z [12]	34
Obrázok 10: Štruktúra SAW senzoru. Prevzaté z [12]	34
Obrázok 11: Funkčný blokový diagram modulu ESP32. Prevzaté z [14]	35
Obrázok 12: Moduly ESP8266 a ESP32 (vpravo). Na základe [15][16]	36
Obrázok 13: Porovnanie analógového vstupného signálu a zdigitalizovaného výstupného signálu. Na základe [18]	38
Obrázok 14: Vzťah medzi bitovou dĺžkou A/D prevodníku a jeho presnosťou. Prevzaté z [18]	38
Obrázok 15: Náhľad na model navrhnutého senzorového tagu v Altium Designer	41
Obrázok 16: Náhľad na jednotlivé vrstvy DPS a spojenie vrstiev navrhnutých v Altium Designer	42
Obrázok 17: Schéma zapojenia - zdroj napájania, nulový odpor pre meranie prúdu a vypínač	43
Obrázok 18: Schéma zapojenia Buck/Boost prevodníku TPS63001	44
Obrázok 19: Schéma zapojenia nabíjacieho obvodu MCP73831T	45
Obrázok 20: Schéma zapojenia UART mostu FT231X	46
Obrázok 21: Princíp funkcie snímania hladiny látok senzorom MiCS-6814. Prevzaté z [23]	47
Obrázok 22: Schéma zapojenia senzoru MiCS-6814	48
Obrázok 23: Schéma zapojenia senzoru HDC1080	49
Obrázok 24: Master – slave komunikácia cez I ² C zbernicu. Prevzaté z [25]	49
Obrázok 25: Neosadená DPS a osadená DPS vedľa seba	50
Obrázok 26: Detail na vzniknuté spoje	51
Obrázok 27: Premeriavanie napätia zahrievacích rezistorov senzoru mics-6814 R1, R2 a R3	51
Obrázok 28: Princíp synchronizácie času. Prevzaté z [26]	52
Obrázok 29: Princíp zapisovania dát do FLASH pamäte	54
Obrázok 30: Vývojový diagram firmwaru senzorového tagu	56
Obrázok 31: Úryvok kódu – tlačítko príkazu pre uloženie dát do textového súboru	57
Obrázok 32: Úryvok kódu – formátovanie vyhodnocovacej tabuľky	57
Obrázok 33: Náhľad na namerané hodnoty teploty, relatívnej vlhkosti a koncentrácie amoniaku uložené v textovom súbore	58
Obrázok 34: Náhľad na navrhnutý softvér pre odosielanie a spracovanie dát	59
Obrázok 35: Príklad grafického znázornenia priebehu merania	59
Obrázok 36: Mobilová aplikácia pre senzorový tag	60
Obrázok 37: Náhľad na experimentálnu nádobku	62
Obrázok 38: Namerané dáta uložené v tabuľke navrhnutého softvéru	64
Obrázok 39: Namerané dáta koncentrácie NH ₃ vynesené do závislosti na čase	64

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1: Prehľad druhov mikroorganizmov množiacich sa pri rôznych teplotách. Prevzaté z [6]	25
Tabuľka 2: Prehľadná tabuľka rozdielov technológií pre monitorovanie potravín. Na základe [9]	30
Tabuľka 3: Základné vlastnosti ESP32. Na základe [14]	36
Tabuľka 4: Prehľad napájacích režimov a ich odberov. Na základe [14]	37
Tabuľka 5: Prehľad rôznych presností A/D prevodníkov podľa bitovej dĺžky 3,3V systému. Na základe [18].....	39
Tabuľka 6: Prehľad detekovateľných látok senzorom MiCS-6814. Na základe [23].....	46
Tabuľka 7: Prehľad výsledkov merania senzorovým tagom.....	63

ÚVOD

Zdravotná nezávadnosť potravín je vo všetkých krajinách predmetom záujmu spotrebiteľskej verejnosti. Starostlivosť o zdravotnú nezávadnosť je taktiež v záujme výrobcu a dodávateľov potravín, pretože dôvera spotrebiteľa je stále častejšie rozhodujúcim faktorom na národnej i medzinárodnej úrovni ktorý rozhoduje o ich ekonomickom úspechu a niekedy aj prežití. Základné zásady starostlivosti o zdravotnú nezávadnosť potravín boli formulované v Smernici Rady 93/43/EHS zo dňa 14. júna 1993 o hygiene potravín. Táto smernica určila povinnosť výrobcov potravín zachádzať s potravinami hygienickým spôsobom, zaviesť HACCP (tj. vykonávať analýzu nebezpečenstiev ohrozujúcich zdravotnú nezávadnosť potravín, stanoviť vo výrobe kritické body, v ktorých sa dajú identifikované nebezpečenstvá ovládať, viesť o tomto systéme dokumentáciu a overovať a udržiavať jeho účinnosť) a dodržiavať hygienické predpisy uvedené v prílohe Smernice. [1]

Existujúce senzorové technológie pre kontrolu zdravotnej nezávadnosti potravín nie su bežne používané a to z dôvodu vysokej ceny (cena takéhoto zariadenia často tvorí až štvrtinu celkovej ceny balenia) a taktiež z dôvodu obtiažnej interpretácie samotného zariadenia.

Pre kontrolu balených potravín sa začali používať RFID (radio frequency identification) tagy so zabudovanými senzormi, ktoré sú špecificky navrhnuté pre rozpoznanie prítomnosti hladiny cieľových látok. Tieto tagy sa vkladajú do balenia potraviny, kde priebežne snímajú hladiny prítomných látok pomocou senzoru a ukladajú dáta pomocou prítomného čipu. Pre snímanie konkrétnej látky je na tagu prítomný príslušný senzor. Na základe koncentrácie látky v balení senzor vyprodukuje korešpondujúci potenciálový rozdiel zmenou odporu materiálu vo vnútri senzoru, ktorý môže byť zmeraný ako výstupné napätie, ktoré sa ako informácia posiela do príslušného modulu. Hodnoty uložené do pamäte sa následne dajú čítať pomocou NFC (near field communication) zariadenia ktoré vyšle signál RFID tagu a uložené dáta načíta. Namerané hodnoty nám poskytujú informáciu o stave potraviny v reálnom čase. [2]

Prvá kapitola záverečnej práce sa zaoberá základmi správnej výrobnnej a predajnej praxi potravín a systémom HACCP. Ďalej práca zoznamuje s faktormi vplyvujúcimi na zdravotnú nezávadnosť mäsa a s technológiami na dohľad správnej výrobnnej, skladovacej a predajnej praxi potravín. Piata kapitola práce oboznamuje s mikrokontrolérom rady ESP32, jeho vymoženosťami a možnosťami jeho programovania. Od kapitoly č. 6 sa práca zaoberá návrhom, realizáciou senzorového tagu a jeho testovaním.

Výstupom záverečnej práce je realizovaný návrh senzorového tagu, ktorý je schopný pomocou senzorov teploty a vlhkosti vzduchu HDC1080 a moniakom MiCS-6814, meraniu, ukladaniu a exportu nameraných dát teploty, vlhkosti a koncentrácie amoniaku, ktoré sa dajú ďalej vyhodnocovať vďaka navrhnutému softvéru.

1. SPRÁVNA HYGIENICKÁ A VÝROBNÁ PRAX

Samotný pojem správna hygienická a výrobná prax znamená praktické uplatňovanie zverejnených zásad a pravidiel (spravidla vo forme príručky), ktoré sú pri výrobe potravín potrebné pre dosiahnutie zdravotne nezávadných a jakostných výrobkov. Väčšina týchto zásad a pravidiel je zverejnených v zákonoch a vyhláškach a ich dodržovanie je pre výrobcov záväzné. Sú však spravidla formulované obecné, bez ohľadu na konkrétne výrobky alebo technológie. Ich dodržovanie nieje vymáhateľné, výrobcovia sa k ich dodržovaniu hlásia dobrovoľne. Pri ich nedodržaní však musia byť schopní preukázať, že nimi používané postupy vedú taktiež k produkcii zdravotne nezávadných potravín. [1]

Nastavenie rovnakých podmienok vo výrobe je v záujme výrobcov z toho dôvodu, že je tak aspoň zčasti obmedzená nekalá konkurencia ťažiacia z výhod nižších nákladov na udržiavanie systému jakosti a zdravotnej nezávadnosti. [1]

Zavedenie správnej hygienickej a výrobnej praxi môže priniesť výrobcovi potravín ešte ďalšiu výhodu, ktorou je možnosť zjednodušiť systém kritických bodov. Najmä menší výrobcovia môžu využiť zníženie počtu kritických bodov až na jeden, zameraný na kontrolu dodržovania správnej výrobnej a hygienickej praxi (vyhl. 147/1998 Sb. ve znění vyhl. 196/2002 Sb.). [1]

1.1 Hygienická prax

Správna hygienická prax pri spracovaní potravín je termín zahrňujúci postupy a opatrenia týkajúce sa prevádzkovej hygieny a sanitácie, osobnej hygieny, sledovania kvality pitnej vody, vylúčenie krížovej kontaminácie, opatrenia k minimalizácii výskytu cudzích predmetov v potravinách, deratizácia a dezinsekcia, sledovanie zdravotného stavu pracovníkov vo výrobe potravín a ich školenie. [1]

Správna hygienická prax je súčasťou správnej výrobnej praxi a dohromady tvoria celok umožňujúci zabezpečiť zdravotnú nezávadnosť potravín. Princípy správnej výrobnej a hygienickej praxi sú teda základom a najjednoduchším odrazovým mostíkom pre zavedenie systému HACCP.[1]

Správna hygienická prax znamená, že sú zavedené nutné hygienické podmienky v priebehu celého výrobného reťazca potravín od primárnej produkcie až k finálnemu výrobku. tzn. že zahrňuje:

- 1) identifikáciu a sledovateľnosť surovín,
- 2) technologické postupy,
- 3) nakladanie s odpadmi,
- 4) výcvik zamestnancov,
- 5) údržbu strojného zariadenia,
- 6) stanovenie zodpovedností a právomocí. [5]

Požiadavky na hygienu v celom potravinárskom sektore sú stanovené v prílohe nariadenia 852/2004/ES. [3]

1.2 Systém HACCP

Systém HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) je vo výrobe jeden zo základných nástrojov, jak účinne predchádzať rizikám ohrozujúcim bezpečnosť potravín.

Vytvorenie a zavedenie systému HACCP je vyžadované povinne u všetkých výrobcov potravín na základe Nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 852/2004 zo dňa 29. apríla 2004 o hygiene potravín. Tento systém je určený pre všetky potravinárske podniky zaisťujúce výrobu, spracovanie a distribúciu potravín a taktiež pre podniky, ktoré svojimi produktmi do potravinového reťazca vstupujú (poľnohospodárstvo, výroba obalov, apod.). Certifikácia systému HACCP je preukázateľným potvrdením funkčnosti a efektivity zavedeného systému HACCP. [4]

1.2.1 Princíp tvorby HACCP

Prevádzkovateľ potravinárskeho podniku musí menovať členov tímu HACCP a musí byť určený vedúci tímu HACCP. O menovaní členov tímu HACCP musí prevádzkovateľ potravinárskeho podniku predložiť dôkaz. Tým musí byť multidisciplinárny a jeho jednotliví členovia musia mať znalosti v rozsahu odpovedajúcomu ich funkcii v tíme HACCP. Tým musí takisto zahrňovať predstaviteľov pozorovateľov potravinárskeho podniku pre systém HACCP. Tým identifikuje a vypracuje plán HACCP. [5]

1.2.2 Vymedzenie činností

Prevádzkovateľ potravinárskeho podniku musí definovať všetky oblasti činností, ktoré prevádzkuje vo vzťahu k výrobe, spracovaniu a distribúcií potravín. Definované činnosti musia byť zahrnuté v pláne HACCP. [5]

1.2.3 Informácie o potravinách

Pre všetky potraviny alebo skupiny potravín musia existovať spoľahlivé informácie potrebné k zhodnoteniu ich bezpečnosti.

Jedná sa najmä o informácie o:

- zloženie potravín (u skupiny potravín – zohľadnenie špecifických vlastností použitých surovín a pridaných látok,
- látok určených k aromatizácii aj.)
- princípu, na ktorom je založená údržnosť potraviny (napr.: tepelné spracovanie, chemická konzervácia, osmoanabióza, chladenie, zmrazenie, sušenie apod.)
- balenie (napr. použitý obalový materiál, spôsoby balenia, charakteristika, veľkosť balenia),
- trvanlivosti a skladovacích podmienkach,
- spôsobe a podmienkach distribúcie,

- spôsobe prípravy pred konzumáciou,
- dôkaze o spôsobe stanovenia trvanlivosti, ktorý musí predložiť prevádzkovateľ, ktorý označuje výrobok dátumom minimálnej trvanlivosti/dátumom spotreby. [5]

1.2.4 Identifikácia zamýšľaného použitia

Prevádzkovateľ potravinárskeho podniku musí zohľadniť predpokladanú cieľovú skupinu spotrebiteľov, predovšetkým z hľadiska možného ovplyvnenia zdravia spotrebiteľov, a možného nesprávneho použitia výrobku. [5]

1.2.5 Zostavenie prúdového diagramu

Tým HACCP zostrojí prúdový diagram, ktorý pokrýva všetky fázy výroby, spracovanie a distribúciu v danom potravinárskom podniku. Diagram musí zahrnúť všetky operácie, vrátane nakupovaných služieb, prípravy surovín a nakladanie s odpadmi, ktoré vznikli pri výrobe, spracovaní a distribúcii, a ktoré môžu mať vplyv na bezpečnosť potravín. [5]

1.2.6 Potvrdenie prúdového diagramu na mieste

Diagram alebo úplný slovný popis výroby musí byť potvrdený priamo na mieste za bežnej prevádzky. Pokiaľ sú zistené odchylky, musí byť diagram alebo popis uvedený do súladu so skutočným stavom. [5]

1.2.7 Analýza nebezpečia

Prevádzkovateľ potravinárskeho podniku musí predložiť dôkaz o prevedenej analýze nebezpečenstiev. V analýze nebezpečenstiev musia byť zahrnuté všetky nebezpečenstvá ohrozujúce bezpečnosť potravín, ktorých výskyt sa dá vo vzťahu k danej potravine alebo skupine potravín v rozumnej miere predpokladať (fyzikálne, chemické, mikrobiologické kontaminácie). Analýza nebezpečia musí zohľadňovať vlastnosti potravín, použité výrobné technológie a postupy a stav priestorov a zariadení potravinárskeho podniku. [5]

1.2.8 Stanovenie kritických bodov (CCP)

Prevádzkovateľ potravinárskeho podniku musí predložiť dokumentáciu, jakou metodikou bolo rozhodnuté o stanovení CCP. Pre každé identifikované nebezpečenstvo musí prevádzkovateľ potravinárskeho podniku predložiť doklad o vhodne stanovenom ovládacom opatrení. [5]

1.2.9 Stanovenie kritických medzí

Pre každý stanovený kritický kontrolný bod (CCP) musia byť stanovené predovšetkým merateľné parametre kritických medzí. Medzi parametre kritických medzí môžu patriť napríklad senzorické vlastnosti surovín, polotovarov alebo distribuovaných potravín a to za predpokladu, že sú ľahko posuditeľné a posudzovateľ je o prevádzkovej senzorickej analýze preškolený, a s limitnými požiadavkami senzorických ukazateľov dobre zoznámený. [5]

1.2.10 Monitoring

Prevádzkovateľ potravinárskeho podniku musí mať zavedený plne dokumentovateľný systém monitoringu podľa stanovených CCP.

Systém monitoringu musí zahŕňať minimálne tieto údaje:

- kto prevádzkuje monitoring,
- spôsob a metódy monitoringu,
- frekvencia monitoringu,
- stanovené kritické medze. [5]

1.2.11 Stanovenie nápravných opatrení

Pre každé prekročenie kritických medzí musia byť stanovené nápravné opatrenia vrátane stanovenia zodpovednej osoby za ich prevedenie. Nápravné opatrenia musia zahŕňať i postupy pre nakladanie s potravinou v nezvládnutom stave. Prevedenie nápravných opatrení musí byť vždy dokumentované. [5]

1.2.12 Overovacie postupy

Prevádzkovateľ potravinárskeho podniku musí mať vytvorený systém overovacích postupov vrátane stanovení ich čítateľnosti minimálne 1x za 2 roky, ktorý zahŕňa:

- overovanie metód a postupov monitoringu,
- overenie správnosti plánu HACCP,
- overovanie funkcie systému (napríklad formou analýz hotového výrobku, vyhodnotením reklamácií, senzorickým testovaním výrobkov apod.),
- systém interných auditov s čítateľnosťou minimálne 1x za rok. [5]

1.2.13 Dokumentácia a vedenie záznamov

Všetky postupy zavedenia systému HACCP vrátane jeho zmien musia byť dostatočne dokumentované a všetky vedené záznamy musia byť preukázateľne vedené. Rozsah dokumentácie musí odpovedať veľkosti podniku, musí obsahovať minimálne nižšie uvedené dokumenty a záznamy:

a) dokumenty o:

- zostavení tímu HACCP,
- vymedzení činnosti,
- popise potraviny a identifikácií možného použitia, zostavení a potvrdení prúdového diagramu alebo úplného slovného popisu výroby,
- identifikovaných nebezpečných a príslušných ovládacích opatreniach,
- rozhodovaní o stanovení CCP,
- stanovení kritických medzí,
- postupe monitoringu v CCP,
- nápravných opatreniach pre jednotlivé CCP, [5]

b) záznamy o:

- monitoringu v CCP a prevedených nápravných opatreniach,
- overovacích postupoch,
- účasti zamestnancov na školení a obsahu jednotlivých školení. [5]

1.2.14 Školenie

Prevádzkovateľ potravinárskeho podniku musí mať zavedený systém školenia a doškolovania zamestnancov. V rámci tohoto systému musí byť zohľadnený postup pri prijímaní nových zamestnancov, ktorí musia byť preškolení bezprostredne po nástupe do zamestnania.

Pravidelný plán školenia musí zahŕňať minimálne tieto oblasti:

- hygienické minimum,
- správnu výrobnú a hygienickú prax,
- systém HACCP,
- systém monitoringu,
- DDD činnosti. [5]

2. CHARAKTERISTIKA MÄSA

Mäso predstavuje základný zdroj plnohodnotných živočíšnych bielkovín vo výžive ľudí a pokrýva potrebu živočíšnych bielkovín vo výžive na úrovni asi 60%. [6]

Taktiež predstavuje zdroj esenciálnych mastných kyselín v podobe tukov a predstavuje dôležitý zdroj vitamínov ako aj minerálnych látok. [6]

Hlavnou nevýhodou mäsa ako potraviny je zvýšený podiel tuku. To má za následok zvýšený príjem cholesterolu pri jeho požívaní. Na základe veku a výkonnosti jedinca sa denný príjem bielkovín pohybuje na úrovni 0,5 až 1g na kg hmotnosti, pričom podiel príjmu energie z tukov by nemal prekračovať 30% z celkovej potreby energie. [6]

Mäso jatočných zvierat sa delí podľa druhu a vekovej kategórie zvierat na:

1. hovädzie,
2. teľacie,
3. bravčové,
4. baranie,
5. jahňacie,
6. kozie,
7. kozľacie,
8. mäso z domácich nepárnokopytníkov.

Jatočne opracované telá sa musia najprv nechať veterinárne klasifikovať a ihneď potom bezprostredne vychladiť. Vnútorňú teplotu by mala dosahovať 7 °C, pre ošípané maximálne do 24 hodín a pre hovädzí dobytok maximálne za 36 hodín po ukončení jatočného opracovania zvierat.

Mäso sa ďalej skladuje v chladnom sklade pri teplote 0 °C až 5 °C a pri relatívnej vlhkosti vzduchu 85% až 95% a prúde vzduchu 0,1 m.s⁻¹ až 0,3 m.s⁻¹.

Vedľajšie jedlé jatočné produkty sa musia vychladiť na teplotu 3 °C do 12 hodín od získania pri jatočnom opracovaní zvierat. [6]

Mrazené mäso sa považuje za čerstvé pri splnení nasledujúcich podmienok:

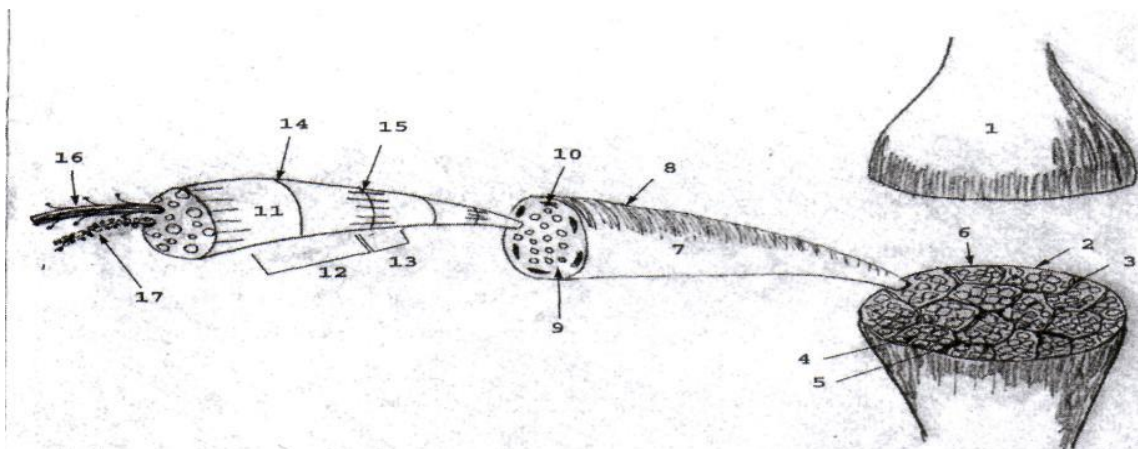
1. základné zmrazenie na vnútorňú teplotu najmenej - 12 °C
2. hlboké zmrazenie na vnútorňú teplotu najmenej - 18 °C

2.1 Svalstvo a jeho histologická stavba

Mäso v užšom slova zmysle predstavuje kostrovú svalovinu reprezentovanú samotným priečne pruhovaným svalstvom. [6]

Priečne pruhovaná kostrová svalovina je tvorená „súbuním“ valcovitého tvaru, ktoré predstavuje jej základnú stavebnú jednotku. Bunečná blana tvorí povrch svalového vlákna – sakrolema, tesne pod ktorou sú uložené jadrá zoskupených buniek. Vlákna sú vyplnené sakroplazmou, ktorá obsahuje bunečné organely, z ktorých najvýznamnejšie sú myofibrily. Myofibrily predstavujú 1 až 2 μm hrubé vlákna, ktorých počet v jednom svalovom vlákne môže byť až 1000. [6].

Štruktúra rezu kostrovým svalom je znázornená na obrázku 1.



Obrázok 1: Rez kostrovým svalom a priečne pruhovaná kostrová svalovina. Prevzaté z [6]

Vysvetlivky: 1 – kostrový sval, 2 – vonkajšia osvalovica (epimýzium), 3 – vnútorná osvalovica (perimýzium) 4 – endomýzium, 5 – tukové väzivo (intramuskulárne), 6 – snopec svalových vlákien, 7 – svalové vlákno, 8 – sarkolemma, 9 – sakroplazma, 10 – jadro, 11 – myofibrila, 12 – I – segment, 13 – A – segment, 14 – Z – disk, 15 – H – disk, 16 – hrubé myofilamenty, 17 – tenké myofilamenty. [6]

Myofibrily sú priečne rozdelené na prebážky – sarkomery, podľa ktorých je svalovina pomenovaná ako priečne pruhovaná.

V myofibrilách sa nachádzajú filameny, ktoré sa delia na tenké (aktínové) a hrubé (myozínové). Mechanická funkčnosť svalov je spôsobená zasúvaním aktínových amyozínových filamentov do seba, čo má za následok skracovanie svalových vlákien a svalov. K tomu dochádza jednak pri kontrakcii svalov a taktiež pri posmrtných zmenách v svalovine (*rigor mortis*). [6]

2.2 Proces zrenia mäsa a zmeny jeho technologických vlastností

Pri prerušení krvného obehu usmrtením zvierat'a dôjde k prerušeniu prísunu kyslíku do svaloviny, čím sa mení charakter prebiehajúcich reakcií z aeróbných na anaeróbne. [7]

Degradáciou svalového glykogénu rastie koncentrácia kyseliny mliečnej, čoho dôsledkom je zníženie hladiny pH v mäse. [7]

Pri skladovateľnosti mäsa hrajú rolu enzýmové pochody v odumierajúcich živočíšnych tkanivách predstavujúce komplex reakcií, ktoré podmieňujú zmeny fyzikálno – technologických parametrov kvality mäsa. [7]

Zrením mäsa sa rozumie stupeň autolitických zmien svalových bielkovín, ktoré spôsobujú autolytickú degradáciu energetických zložiek svalu – hlavne glykogén a adenosíntrifosfát (ATP). V anaeróbnom prostredí sa svalový glykogén mení na kyselinu mliečnu $C_3H_6O_3$, pričom sa ATP rozkladá na kyselinu fosforečnú H_3PO_4 . [7]

Dôsledkom hromadenia týchto kyselín sa znižuje pH svaloviny približne na hodnotu 5,5 čo má za následok zmenu v usporiadaní štruktúry svalových bielkovín, následkom čoho sa menia úžitkové vlastnosti mäsa. [7]

Autolýza mäsa jatočných zvierat má 3 štádiá:

- posmrtné stuhnutie (*rigor mortis*),
- zrenie mäsa,
- hĺbková autolýza. [7]

Fáza posmrtného tuhnutia *rigor mortis* predstavuje prvé štádium autolýzy mäsa. V tomto štádiu sa mení konzistencia svalstva, čo sa prejavuje tuhnutím mäsa a znížením schopnosti viazať vodu. To je spôsobené poklesom hladiny adenosíntrifosfátu (ATP), ktorá sa nemení približne 2 hodiny po porážke zvierat'a. Poklesom koncentrácie ATP sa tvorí aktíno – myozínový komplex, ktorý spôsobuje stuhnutie svaloviny a zamedzuje jej schopnosti viazať vodu. [7]

Významnú rolu v prvej fáze autolýzy hraje teplota mäsa, na ktorej je závislý pokles pH v svalovine a tým aj nástup samotného posmrtného stuhnutia. [7]

Stav úplného posmrtného stuhnutia dosahuje mäso približne do 20 hodín od porážky a trvá ďalších 24 až 48 hodín. Pri dosiahnutí hodnoty pH približne 5,3 sú molekuly mäsových bielkovín bez elektrického náboja, čo spôsobuje zhoršenie väznosti mäsa. [7]

Mäso má vo fáze *rigor mortis* nevhodné senzorické vlastnosti a taktiež menej vhodné vlastnosti pre kuchynské alebo technologické spracovanie pretože je veľmi tuhé a zle viaže vodu dôsledkom čoho vznikajú straty uvoľňovaním mäsovej šťavy. [7]

Druhým štádiom autolýzy mäsa je fáza vlastného zrenia, kedy mäso nadobúda vhodné úžitkové vlastnosti. V tomto štádiu dochádza k pôsobeniu natívnych proteolytických enzýmov, dôsledkom čoho nastáva fragmentácia myofibríl. [7]

Disociáciou aktínomyozínového komplexu na aktín amyozín sa znovu zvyšuje hladina pH mäsa, čím sa mäso uvoľní, postupne krehne a výrazne sa zlepšujú jeho senzorické vlastnosti. [7]

Chunosť a aróma mäsa je spôsobená zvýšenou koncentráciou peptidov a aminokyselín, ktorá rastie pri zrení mäsa. Doba zrenia mäsa je podmienená pôvodom mäsa a teplotou jeho skladovania. Zrenie mäsa pri bežnom chladiarenskom skladovaní trvá 10 až 14 dní pre hovädie a 5 až 7 dní pre bravčové mäso. [7]

Proces zrenia mäsa je možné umelo urýchliť technologickými postupmi, pričom sa používajú fyzikálne alebo biochemické postupy ktorých pôsobením sa buď rozrušujú aktinomyozínové väzby alebo sa poničia svalové vlákna. [7]

Posledným štádiom autolýzy je hĺbková autolýza, trvaním ktorej mäso nadobúda nežiadúce senzorické vlastnosti. V štádiu hĺbkovej autolýzy dochádza k štiepeniu peptidov ako aj aminokyselín až na produkty typu amoniak, sírovodík, amíny a merkaptány. Ďalej sa prejavuje deštrukcia tukov priebehom hydrolyzy a oxidácie. [7]

Okrem vyššie uvedených procesov prebiehajú taktiež procesy proeolýzy. Tieto sú spôsobené mikrobiálnymi proteolytickými organizmami produkovanými kontaminujúcou mikroflórou. Takáto kontaminácia mäsa je podmienená hygienickou úrovňou jatočných prevádzok, chladiarní a rozrábkarní mäsa. [7]

V počiatku autolýzy mäsa je aktivita kontaminujúcej mikroflóry obmedzená nižšou hodnotou pH (5,5). Postupom autolýzy sa rozkladom kyseliny mliečnej $C_3H_6O_3$ na oxid uhličitý CO_2 a vodu H_2O , čo zapríčini nárast hladiny pH v mäse. Po dosiahnutí hladiny pH 6 sa kontaminujúca mikroflóra premnožuje a pri dosiahnutí početnosti 10^7 až 10^8 na 1 cm^3 sú pozorovateľné zmeny hlavne farby, oslznutia a hnilobného zápachu. Proteolytický rozklad sa delí do troch etáp – povrchové oslznutie, povrchová hniloba a hĺbková hniloba. [7]

V počiatkovom štádiu povrchového oslznutia sa dá mäso ošetriť orezaním povrchovej vrstvy alebo aj dôkladným umytím v okyslenej vode kyselinou octovou/mliečnou a následným opláchnutím pitnou vodou. [7]

Pre údržnosť mäsa sa využívajú preparáty pre zníženie hladiny pH (Purac, Purac – frisch), ktoré pôsobia na báze kyseliny mliečnej alebo octovej. Proteolytický rozklad sa delí do troch etáp – povrchové oslznutie, povrchová hniloba a hĺbková hniloba. [7]

Kyslé prostredie predstavuje pre mikroorganizmy nevhodné podmienky pre množenie a účinne tak zabraňuje proteolýze. [7]

Mäso ošetrované týmto spôsobom stráca charakter čerstvého mäsa a jeho využitie sa stanovuje posúdením a rozhodnutím orgánu veterinárno-potravinového dozoru. [7]

Po oslznutí prechádza mäso do štádia povrchovej hniloby, v ktorej kontaminujúca mikroflóra prenikne do hlbších vrstiev mäsa kde svojimi enzýmami spôsobí rozklad jeho zložiek. [7]

Poslednou fázou je hĺbková hniloba, pri ktorej prebieha kazenie mäsa v celých anatomických častiach. Môže vzniknúť rozšírením povrchovej hniloby alebo môže mať

ložiskový charakter. Príčinou takejto hniloby môžu byť hĺbkové poranenia svalu, krvácaniny do svaloviny alebo infekcia použitím nedostatočne asanovaným náradím pri opracovaní mäsa. [7]

Špecifickú formu kazenia mäsa predstavuje zaparenie mäsa ktoré vzniká pri nedostatočnej intenzite jeho chladenia najmä pri jeho hromadení za teplého stavu.[6]

Zaparenie mäsa vzniká pri jeho nedostatočnom vychladení, kedy dôchádza k zrýchlenej degradácii glykogénu pri vzniku veľkého množstva oxidu uhličitého CO₂ a karboxylových kyselín. Hlavným znakom zapareného mäsa je jeho sladkokyslý zápach, tmavo červeno – hnedou farbou pričom a obsahuje vyššiu koncentráciu CO₂. Zaparené mäso je nepoužiteľné pre ďalšie spracovanie. [7]

Zástupcami rozkladnej mikroflóry sú najmä *Pseudomonas* (*P. aeruginosa*, *P. fluorescens*) ako aj rody *Aeromonas*, *Streptococcus* a *Lactobacillus*. Pseudomonády vyvolávajú rozklad bielkovín v mäse, ktorý sa prejavuje osliznutím povrchu mäsa, zmenenou arómou a jeho rozklad ďalej pokračuje hlbokou hnilobou. Laktobacily spôsobujú tvorbu peroxidu vodíka, ktorý vyvolá zelenanie mäsa tvorbou derivátov hemových farbív. [7]

Prehľad mikroorganizmov napádajúcich mäso uvádza tabuľka 1, kde napríklad *Pseudomonas putida* je stále aktívna pri nízkych teplotách - 4 °C.

Tabuľka 1: Prehľad druhov mikroorganizmov množiacich sa pri rôznych teplotách. Prevzaté z [6]

Teplota °C	Druhy mikroorganizmov množiacich sa pri uvedených teplotách
15	<i>Clostridium perfringens</i>
12	<i>Bacillus cereus</i>
10	<i>Clostridium botulium</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>
7	<i>Proteus</i> , <i>Escherichia</i>
5	<i>Salmonella</i> , <i>Citrobacter</i>
3	<i>Clostridium botulium</i> E, B
2	<i>Lactobacillus sake</i> , <i>Leuconostoc</i>
0	<i>Listéria monocytogenes</i> , <i>Proteus</i> , <i>Campylobacter</i>
-2	<i>Brochothryx</i> , <i>Yersenia enterocolitica</i>
-4	<i>Pseudomonas putida</i> , <i>P. fluorescens</i>

2.3 Chladiarenské uskladnenie mäsa

Chladiarenským uskladnením sa rozumejú procesy pomocou ktorých sa spomalením zrenia mäsa a činnosti kontaminujúcej mikroflóry predlžuje jeho skladovateľnosť až na niekoľko týždňov. [6]

Vďaka chladiarenskému skladovaniu sa ponúka čas počas ktorého sa získané mäso môže spracovať a distribuovať do obchodných sietí. Zároveň vzniká možnosť tvorenia skladových zásob, ktoré umožňujú vyrovnávať výkyvy v dodávkach a udržiavať nutnú rezervu surovín. Prvé chladiarne s umelou výrobou chladu sa začali budovať koncom 19.

storočia. Nutnosť ochladzovania mäsa vzniká najmä počas teplých letných mesiacoch, kedy dochádza najmä k výrazným mikrobiálnym zmenám mäsa. [6]

Význam chladenia mäsa spočíva v zabezpečení údržnosti a v obmedzení hmotnostných strát. [6]

Rýchlosť chladenia je podmienená:

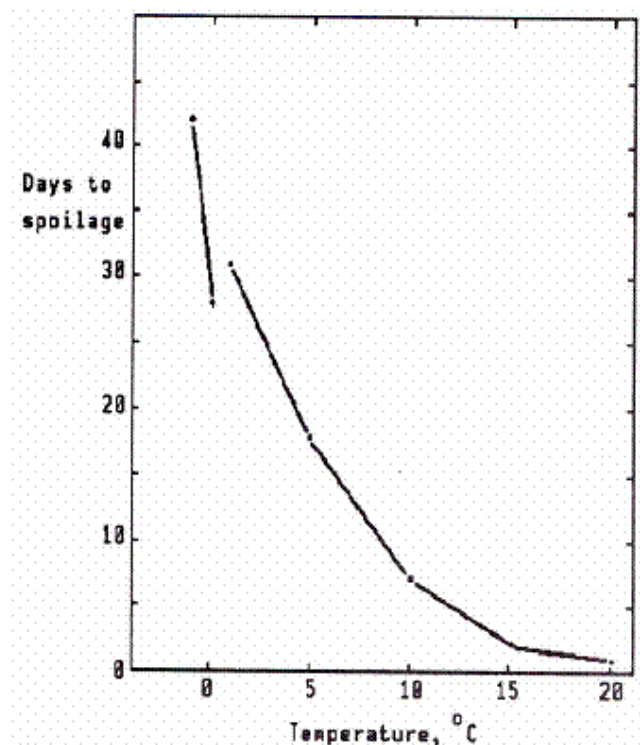
- teplota chladiaceho vzduchu,
- rýchlosť prúdenia vzduchu,
- relatívna vlhkosť vzduchu. [6]

Pri rýchlom chladení mäsa je potrebné dbať na hmotnostné straty, ktoré vznikajú uvoľňovaním šťavy a dosahujú 1 až 1,5% hmotnosti, kde pri pomalom chladení môžu dosahovať 2 až 2,5%. Povrchy s výraznejším obsahom tuku vykazujú nižšie straty pri ochladzovacích procesoch.

V súčasnosti sa využívajú dva systémy chladenia mäsa:

- Jednofázové rýchle chladenie v chladiarenských komorách
- Stupňovité veľmi rýchle chladenie s využitím mraziarenskej sekcie. [6]

V jednofázovom rýchlom chladení sa mäso krátko po opracovaní presunie do chladiarenských komôr s teplotou -1°C do $+2^{\circ}\text{C}$, kde relatívna vlhkosť okolitého vzduchu dosahuje 85% až 95% a rýchlosť prúdenia vzduchu $0,5$ až 3 m.s^{-1} .



Obrázok 2: Závislosť trvanlivosti kuracieho mäsa na teplote skladovania. Prevzaté z

Zvyšovaním rýchlosti prúdenia vzduchu pri uskladnení sa zvýši taktiež rýchlosť vychladenia popričom sa taktiež ale zvyšujú hmotnostné straty. Odpar vody z povrchových vrstiev mäsa je žiadúci, nakoľko zvyšuje skladovateľnosť mäsa tak, že sa lokálne zníži aktivita vody, čím sa obmedzí aktivita mikroorganizmov. Pri využití jednofázového rýchleho chladenia sa jatočné telá ošipaných vychladia za 12 až 14 hodín a hovädzieho dobytku za 24 až 36 hodín. [6]

Stupňovité veľmi rýchle chladenie sa skladá z dvoch fáz. V prvej fáze dosahuje teplota - 5 °C až - 8 °C, a relatívna vlhkosť vzduchu až 90% pri rýchlosti prúdenia vzduchu 2 m.s⁻¹ až 4 m.s⁻¹. Toto chladenie prebieha po dobu 2 hodín. V druhej fáze sa mäso chladí pri teplote približne 0 °C, prúdení vzduchu do 0,3 m.s⁻¹ a relatívnej vlhkosti 90%, až kým sa nedosiahne požadovaná teplota v jadre + 7 °C, alebo menej. Pri využití tejto metódy sa vychladenie jatočných tiel ošipaných dosahuje za 8 až 12 hodín a hovädzieho dobytku za 12 až 18 hodín, čo je približne o 1/3 menej ako pri jednofázovom schladzovaní. [6]

Závislosť trvanlivosti kuracieho mäsa na teplote skladovania je znázornená na obrázku 2, kde je vidieť výrazný pokles trvanlivosti už pri relatívne nízkych teplotách ako 10 °C.

Mäso, ktoré sa plánuje skladovať po dobu 1 až 3 týždňov je najvhodnejšie skladovať pri teplote blízkej 0 °C s rovnomerným prúdením vzduchu, pričom by nemalo mrznúť. [6]

Skladovateľnosť mäsa sa dá ďalej predĺžiť použitím vákuových obalov, prípadne upravením skladovacej atmosféry v obale najmä zmesou oxidu uhličitého CO₂ a dusíku N. Takýmto spôsobom sa môže doba skladovania chladiarensky udržiavaného mäsa až zdvojnásobiť. [6]

3. TECHNOLOGIE PRE MONITOROVANIE ZDRAVOTNEJ NEZÁVADNOSTI POTRAVIN

Na dnešnom trhu sú prevalentné aktívne balenia, ktoré chránia potraviny pridanými látkami a ochrannými atmosférami. Tieto však nezaručujú že sa potraviny nepokazia, ale iba predĺžia trvanlivosť balenej potraviny v sťažených podmienkach.

Aktívne balenie (alebo aj balenie s modifikovanou atmosférou) umožňuje meniť teplotu v balení, odstrániť vzduchu pomocou absorbantov, kontrolovať oxid uhličitý pomocou absorbantov, obmedzovať vlhkosť pomocou absorpčných padov, pridať chemikálie k zmene interných parametrov potraviny (napríklad pH), a použiť antimikrobiálne povlaky k spomaleniu množenia mikróbov v balení. [9]

3.1 SMART balenie

Inteligentné balenie je balenie v ktorom sa nachádza niekoľko chemických a biochemických senzorov.

Tieto senzory môžu monitorovať radu faktorov vplývajúcich na zdravotnú nezávadnosť potraviny ako mikrobiálnu kontamináciu, hladinu oxidu uhličitého, hladinu kyslíku, pH, čas alebo teplotu. Preto sú tieto balenia veľmi výhodnou vymoženosťou, ktorá môže pomôcť k zisteniu závadnosti potraviny a včas nám túto informáciu poskytnúť. [10]

3.2 Optické meniče

Optické meniče sú založené na indikačných farbivách, ktoré menia jednu alebo viac optických vlastností, ako napríklad farba, fluorescencia, a chemiluminescencia pri reakcii s určitou analytickou zložkou.

Použitie pH senzitivných a polyanilinových (PAni) kolorimetrických senzorov bolo demonštrované na monitorovanie kazení rýb ako sardínek, kardinálov, chanosov strieborných atd. Tieto senzory menia farbu v závislosti na TVB-N hladine v balení s rybou. [9]

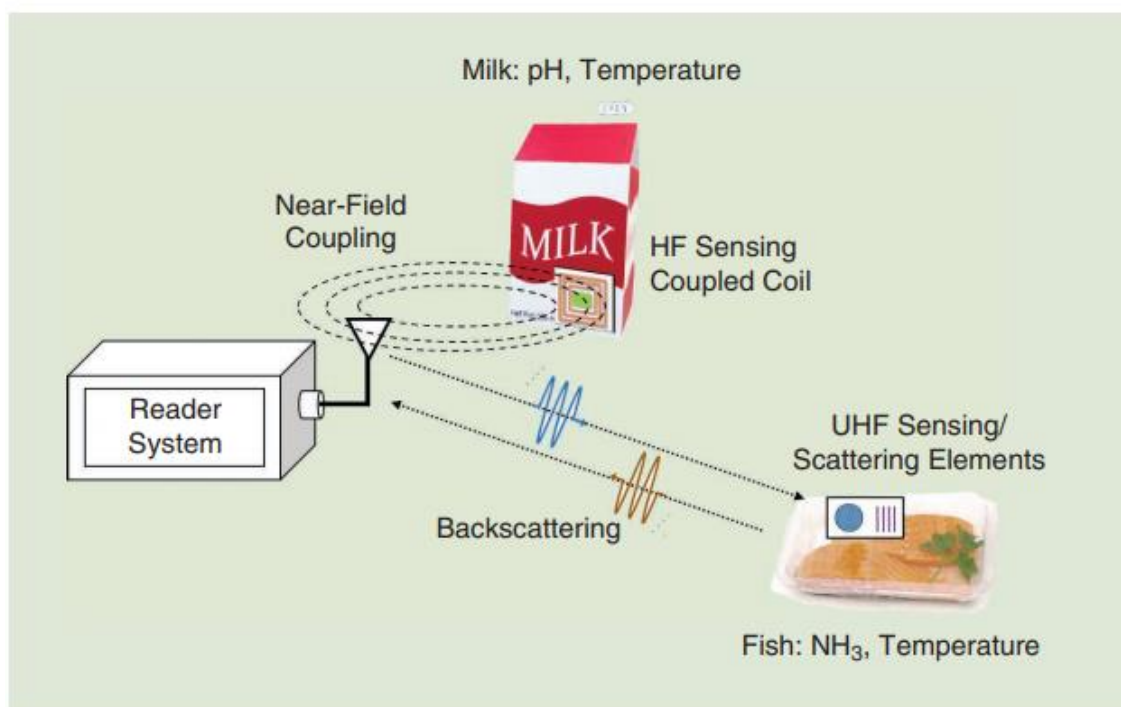
3.3 RFID senzory

Pokroky v tlačenej elektronike a materiálovej vede viedli k ľahkej integrácii rôznych transdukčných mechanizmov do bezdrátových senzorov. RFID (radio frequency identification) senzory sú kategorizované ako aktívne RFID, pasívne RFID alebo bezčipové RFID.

Aktívne RFID senzory nachádzajú využitie v technológiách pre monitorovanie zdravotnej nezávadnosti potravín ako záznamníky dát, najviac rozšírené ako snímače teploty. Dokážu operovať na veľké vzdialenosti ale vyžadujú baterku a sú drahé. [9]

Pasívne bezdrôtové senzory, na druhú stranu, nepožadujú napájanie čo z nich robí cenovo dostupnú a environmentálne šetrnú alternatívu. Tieto senzory predstavujú nové príležitosti pre lacné alternatívy snímania potravín. V závislosti na to, či majú integrovaný obvod ich delíme na senzory s čipom alebo bez čipu. Varianta pasívneho senzoru s čipom potrebuje pre prácu napájanie potrebné pre aktiváciu. To je vyriešené zhromažďovaním energie alebo pomocou čítačky. Tieto metódy sú využívané komerčnými RFID tagmi. [9]

Integrovaný obvod ale nieje súčasťou bezčipového RF senzoru a tým zaručujú dlhšiu dobu života senzoru a nižšiu cenu. Bezčipové RFID, a v niektorých prípadoch pasívne RFID senzory sú kompatibilné s planárnou technológiou čo umožňuje ich produkciu pomocou “roll-to-roll” processingu, čím sa znížia náklady na výrobu. Na obrázku 3 je znázornené monitorovanie potravín systémom RFID. [9]



Obrázok 3: Koncept pasívnych bezdrôtových senzorových systémov pre monitoring balených potravín. Prevzaté z [9]

V závislosti na metóde sa architektúra, komplexita a systémové požiadavky líšia. Vysokofrekvenčné (HF) pasívne RFID sú kompatibilné s veľkým množstvom komerčne dostupných čítačiek ako NFC (near field communication – komunikácia v blízkom poli) - kompatibilné zariadenia ako napríklad smartphone. Pre snímacie aplikácie sa začleňujú dodatočné elektronické zariadenia do RFID, čo zvyšuje ich cenu. Monitorovacie elektronické zariadenia typicky nepožadujú kalibráciu. Vysoko frekvenčné indukčno-kapacitné senzory na báze rezonátoru vyžadujú meranie impedančnej charakteristiky tagu. Pre analýzu nameranej impedancie je potreba komplexné, drahé zariadenie. V nedávnej dobe sa ale objavili lacné čítacie zariadenia pasívnej LC-rezonancie. LC

rezonančné senzory dokážu poskytnúť kvantitatívne meranie napríklad (pH, permitivity, množstva baktérií atď.) v potravinách ale taktiež môžu byť ovplyvnené vonkajšími vplyvmi a preto potrebujú kalibráciu. Zatiaľ čo väčšina HF pasívnych RFID senzorov sa zameriava na meranie prchavých látok alebo analytických prvkov v balení potraviny, LC rezonančné senzory sú založené na meraní zmeny dielektrickej permitivity. [9]

Pasívne UHF RFID systémy na báze čipu predstavujú rozvité technológie a boli široko komercializované pre sledovanie majetku. Navyše je tu možnosť integrovania modulačných obvodov a aktívnych snímacích komponentov pre monitorovacie aplikácie. Z toho dôvodu sú taktiež drahšie. [9]

Čítačky pre bezčipové RFID na druhú stranu vyžadujú komplexné, špecializované architektúry v závislosti na prevádzkovanom režime. [9]

Kompletný HF pasívny senzorový systém pozostáva z čítačky ako napríklad smartphone a vysielač (senzorový tag). Čítačka bezdrátovo vyšle signál (energiu) vysielaču, ktorým ho spustí skrz indukčnú väzbu. [9]

Tabuľka 2: Prehľadná tabuľka rozdielov technológií pre monitorovanie potravín. Na základe [9]

Pasívna snímacia technológia	Vizuálna pozorovateľnosť	Potrebná vzdialenosť pre čítanie hodnôt	Technológia čítačky	Cena tagu	Potrebná kalibrácia
Optická kolorimetria	áno	priama viditeľnosť	Kamera	nízka	áno
Aktívny RFID	Nie	> 10 m	RF čítačka	vysoká	nie
HF-pasívny RFID	nie	0.1 - 0.5 m	NFC zariadenia	stredná	nie
HF-LC rezonátor	nie	2 - 5 cm	Analyzátor impedancie	nízka	áno
UHF-pasívny RFID	nie	10 m	Komerčné zariadenia	stredná	nie
UHF-bezčipový RFID	nie	0.2 - 0.5 m	Vlastné zariadenia	nízka	áno

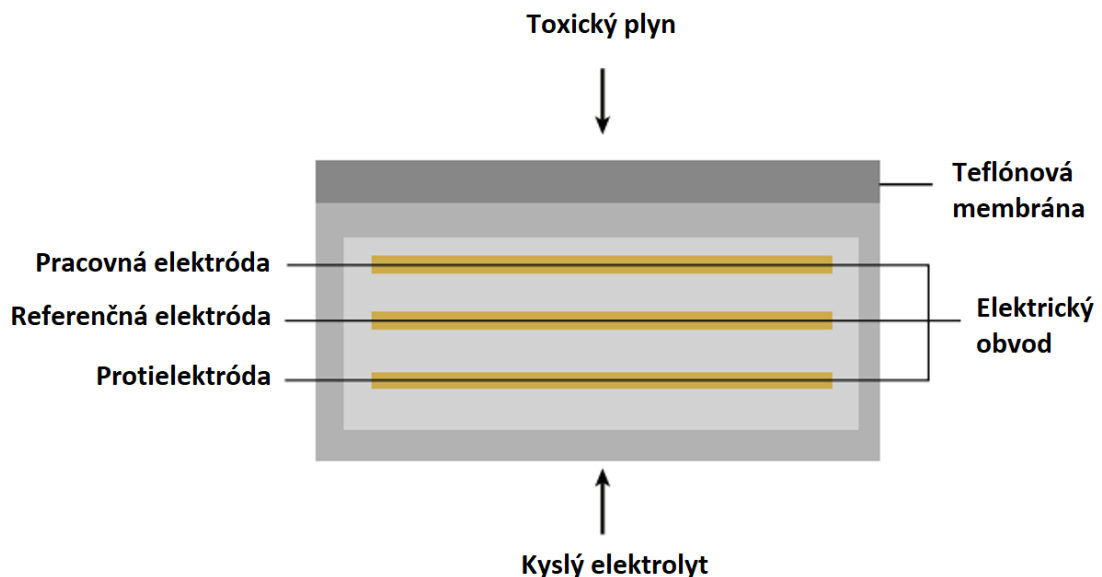
V tabuľke 2 sú uvedené rôzne druhy snímacích technológií a ich porovnanie z hľadiska vizuálnej pozorovateľnosti, potreby čítačky pre získanie nameraných dát atď.

4. VARIANTY SENZOROV PRE SENZOROVÉ TAGY

4.1.1 Elektrochemické senzory

Elektrochemické senzory predstavujú triedu senzorov, v ktorej slúži elektróda ako prvok snímača. Tieto senzory sú pozoruhodné vďaka viacerým faktorom a to najmä vďaka použitiu elektrónov pre získanie signálu, miniaturizácii v prenosných zariadeniach, rýchlej analýze a nízkej cene výroby. Navyše vývoj elektrochemických senzorov prispieva k vylepšovaniu iných techník ako napríklad chromatografických detektorov. V asociácii s nanotechnológiou sa elektrochemické senzory stávajú čoraz presnejšie, selektívnejšie, špecifickejšie a vysoko senzitivne. [11]

Základnou súčasťou elektrochemického senzoru sú snímacia elektróda, protielektróda a obvykle referenčná elektróda. Tieto elektródy sú uzavreté v kryte snímača v kontakte s kvapalným elektrolytom. Snímacia elektróda je na vnútornej strane teflónovej membrány, ktorá je porézna pre plyn ale nepriepustná pre elektrolyt. [11]



Obrázok 4: Štruktúra elektrochemického senzoru. Na základe [11]

Plyn sa rozptýli do senzoru cez membránu do snímacej elektródy. Po vniku plynu do snímacej elektródy nastane elektrochemická reakcia – buď oxidácia alebo redukcia v závislosti na type plynu (napríklad oxid uhoľnatý oxiduje na oxid uhličitý alebo kyslík sa môže zredukovať na vodu). Výsledkom oxidácie je prúd elektrónov zo snímacej elektródy do protielektródy vonkajším obvodom. Tento prúd elektrónov tvorí elektrický prúd ktorý je úmerný koncentrácii plynu. [11]

Vyššie popísaná štruktúra elektrochemického senzoru je znázornená na obrázku 4, ktorý predstavuje rez štruktúrou.

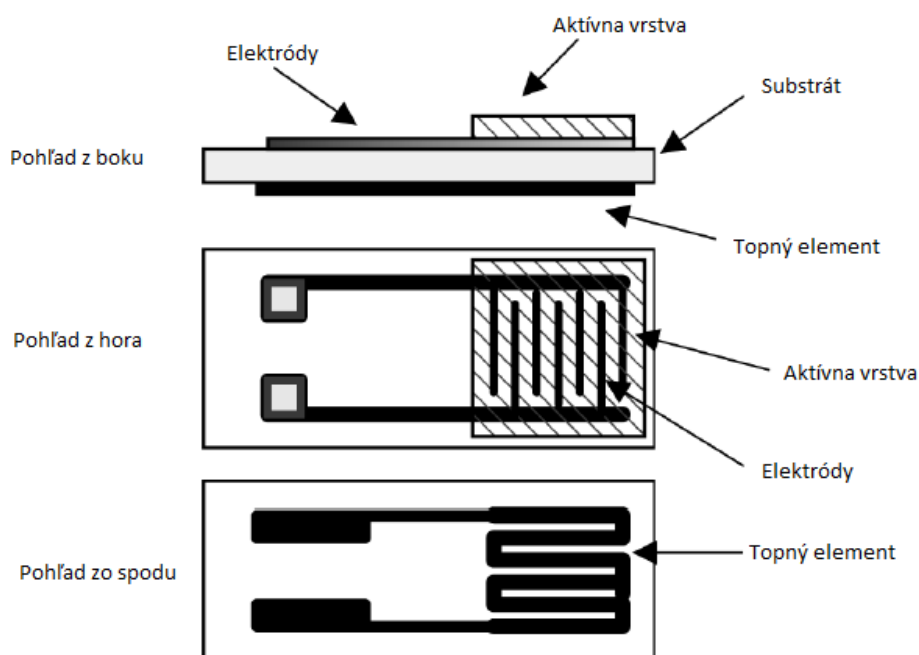
4.1.2 Vodivostné senzory (chemorezistory)

Princípom týchto senzorov je zmena elektrickej vodivosti chemicky citlivej odporovej vrstvy pôsobením plynu.

Vplyvom chemisorpcie dochádza k viazaniu molekúl plynu na povrch aktívnej vrstvy chemickou väzbou, pričom dochádza k prenosu elektrónov a aktívna vrstva mení svoju vodivosť. Výsledný odpor je tak závislý na detekovanom plyne a jeho koncentrácii.

Výhodami týchto senzorov je jednoduchá konštrukcia, dlhá životnosť, vysoká citlivosť, nízka cena, jednoduchá prevádzka a malé rozmery.

Nevýhodou týchto senzorov je náchylnosť k interferencii s ostatnými plynmi a preto môžu v priestoroch s viacerými plynmi spúšťať falošné poplachy. Do istej miery sa to však dá riešiť vhodnými filtermi, ktoré dokážu nežiadúce plyny zachytiť. [12]



Obrázok 6: Štruktúra vodivostného senzoru. Prevzaté z [12]

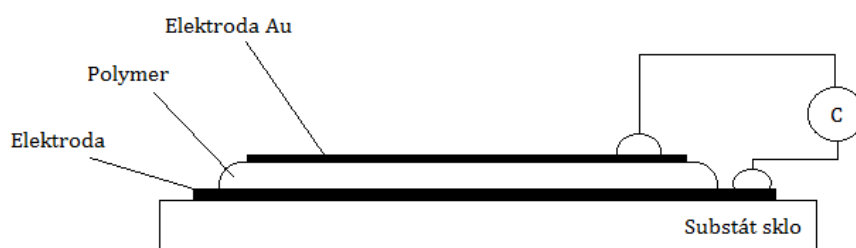


Obrázok 5: Komerčný senzor na meranie plynov na báze vodivostného senzoru. Prevzaté z [12]

4.1.3 Kapacitné senzory (chemokapacity)

Princípom činnosti je meranie kapacity, kde medzi dve elektródy umiestníme chemicky citlivú vrstvu, ktorá je schopná rýchlo a vratne pohlcovať zložky plynov a pár a meniť tak svoju relatívnu permitivitu. Zmeny kapacity bývajú veľmi malé a závisí na pracovnej frekvencii, okolnej teplote a vlhkosti. [12]

Výhodou týchto senzorov je mechanická odolnosť (úplná a rýchla regenerácia), rýchlosť odozvy, malé rozmery a veľmi nízka spotreba energie. Sú ale teplotne závislé a náchylné na oxidáciu elektród. Často sa využívajú k meraniu vlhkosti. [12]

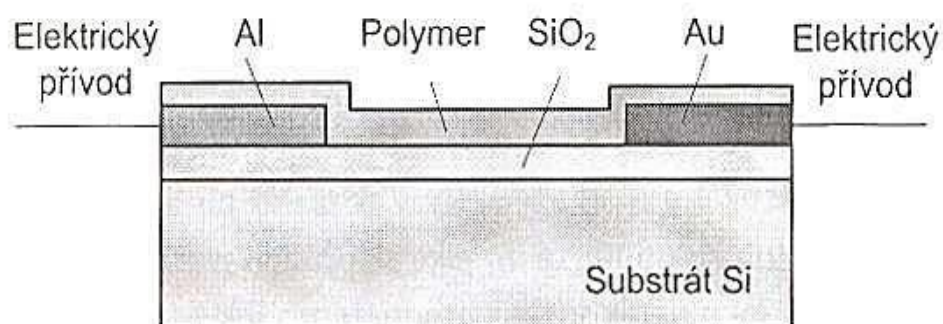


Obrázok 7: Štruktúra kapacitného senzoru. Prevzaté z [12]

4.1.4 Chemodiody

Tieto senzory využívajú Schottkyho PN prechod, kde sa prejavuje citlivosť elektrických charakteristík na pôsobenie chemickej veličiny. [12]

Vlastnosti polymeru sa menia podľa prítomnosti daného plynu a tým sa mení voltampérová charakteristika prechodu diódy. [12]

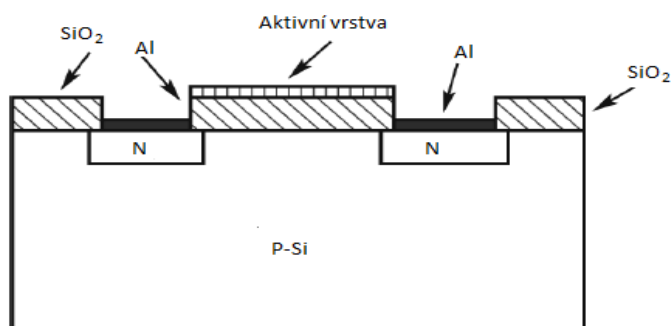


Obrázok 8: Štruktúra chemodiódy. Prevzaté z [12]

4.1.5 Chemotranzistory

Pracujú na podobnom princípe ako chemodiódy ale miesto aktívnej vrstvy majú hradlo gate. [12]

Pri pôsobení plynu na senzor dochádza k transformácii chemických zmien na elektrický signál. Výhodou týchto senzorov je dobrá reprodukovateľnosť a nižší šum výstupného signálu. Sú ale veľmi citlivé na okolité podmienky prostredia. [12]

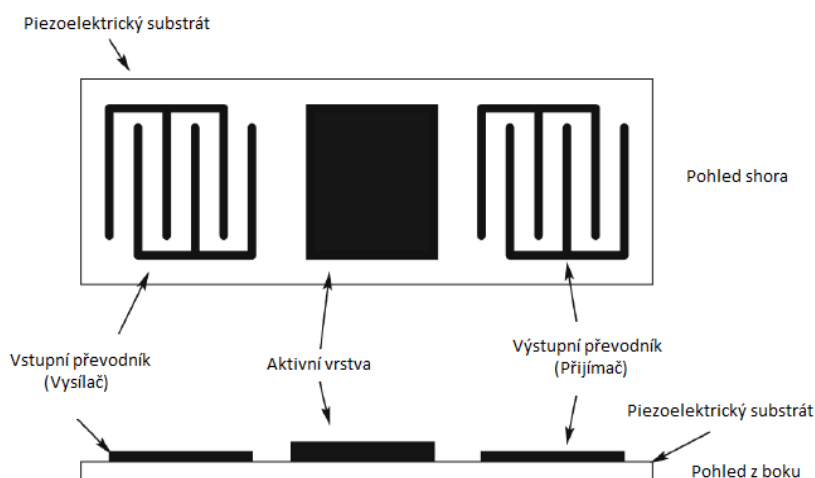


Obrázok 9: Štruktúra chemorezistoru. Prevzaté z [12]

4.1.6 Senzory SAW

Tieto senzory využívajú šírenie akustickej vlny po povrchu chemicky citlivej vrstvy a sú schopné detekovať i veľmi malé koncentrácie plynov. Senzor sa skladá z dvoch rezonátorovo tvorenými elektródami. Chemicky aktívna vrstva, po ktorej sa akustická vlna šíri, tieto rezonátory spája. Jeden rezonátor funguje ako zdroj ultrazvukovej vlny a druhý ako prijímač. Hmotnosť aktívnej vrstvy sa zmení pri kontakte so zisťovaným plynom čím sa zmení frekvencia vlny. [12]

Problémom býva zlý odstup signálu a šumu, pretože SAW prístroje pracujú na vysokých frekvenciách (až jednotky GHz). Obvody pre prácu s týmito senzormi sú komplexné a drahé. [12]



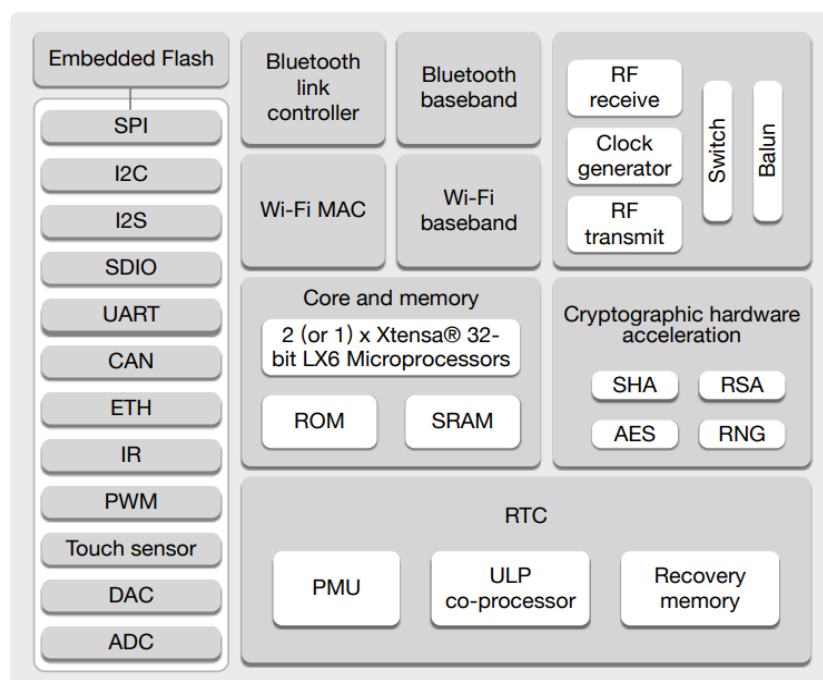
Obrázok 10: Štruktúra SAW senzoru. Prevzaté z [12]

5. MIKROKONTROLÉR ESP32

Espressif ESP32 je 32-bitový RISC dvojjadrový mikroprocesor založený na mikroprocesore Xtensa LX6 a vstavaných mechanizmoch ktoré zaisťujú bezpečnosť dát. Tento mikroprocesor v sebe integruje radiofrekvenčnú časť pre IEEE 802.11b,g,n Wi-Fi komunikáciu a Bluetooth komunikáciu, implementuje TCP/IP protokol a hardvérovú akceleráciu pre šifrovanie WEP (Wired Equivalent Privacy), WPA (Wi-Fi Protected Access) a WPA2. [13]

Jedná sa o tzv. SoC (integrovaný obvod zahŕňajúci všetky potrebné súčasti – System on Chip) mikroprocesor. Mikroprocesor Espressif ESP32 teda vyžaduje pre svoju funkciu pripojenie iba malého množstva pasívnych súčiastok. [13]

Modul je navrhnutý tak, aby dosiahol čo možno najväčšej robustnosti, prispôsobivosti, spoľahlivosti a vysokého výkonu pre rádiotechniku. Modul je navrhnutý najmä pre prenosné aplikácie. Pre svoje výhody sa rada ESP32 uchytila na trhu. [13]

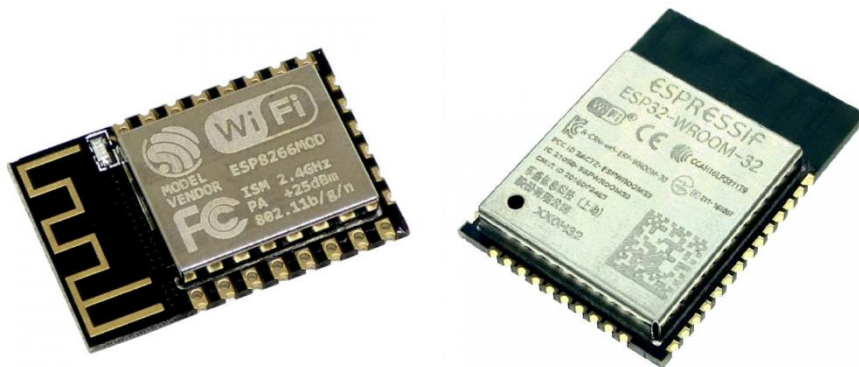


Obrázok 11: Funkčný blokový diagram modulu ESP32. Prevzaté z [14]

5.1 Vznik a výhody ESP32

Mikroprocesory rady ESP32 predstavujú nástupcov rady ESP8266. Prednosťami mikrokontroléru ESP8266 boli najmä jeho nízka cena, vymoženosti a ľahká programovateľnosť.

Rada ESP 8266 mala ale taktiež niekoľko nedostatkov (malá pamäť, jeden analogový pin). Príchod nového ESP32 predstavovalo riešenie týchto nedostatkov a prínos ďalších vymožeností.



Obrázok 12: Moduly ESP8266 a ESP32 (vpravo). Na základe [15][16]

Modul ESP32 obsahuje 34 programovateľných GPIO pinov. Každý z týchto pinov môže byť určený (softvérom) ako vstup alebo výstup pre širokú škálu účelov. Základné vlastnosti mikrokontroléru ESP32 sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3: Základné vlastnosti ESP32. Na základe [14]

ESP32	
Napájacie napätie	3.3V
Procesor	Xtensa LX6, 32-bit
Taktovacia frekvencia	240 MHz
Počet analógových. pinov	14
Počet digit. pinov	26
FLASH	4 MB
RAM	520 KB
WiFi	áno
Bluetooth	áno

5.2 Režimy modulu ESP32

ESP32 sa môže nastaviť do 5 režimov napájania. Podrobné vlastnosti týchto režimov sa nachádzajú v tabuľke 4. Je vidieť, ako sa postupne funkcie vypínajú v závislosti na aktívnom režime napájania.

Možnosť zavedenia týchto módov je kritická pre veľa aplikácií s obmedzeným zdrojom napájania, nakoľko aktívny mód môže vykazovať odber až 260 mA.

Tabuľka 4: Prehľad napájacích režimov a ich odberov. Na základe [14]

Napájací režim	Aktívny režim	Modem-sleep	Light sleep	Deep sleep	Hibernácia MCU
CPU	ON	ON	PAUSE	OFF	OFF
Wi-Fi/BT základné pásmo	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
RTC pamäť a RTC periférie	ON	ON	ON	ON	OFF
ULP co-procesor	ON	ON	ON	ON/OFF	OFF
Odber	95 ~ 260 mA	3 ~ 20 mA	~ 0.8 mA	10 ~ 150 μ A	~ 5 μ A

Pri uvedení ESP32 do režimu hlbokého spánku pracuje ULP (Ultra Low Power) co-procesor, ktorý umožňuje prístup k periférnym zariadeniam, vnútorným časovačom a vnútorným senzorom. Tento mód je užitočný najmä pri aplikáciách, ktoré nevyžadujú nepretržitú prevádzku.

5.3 RTC – hodiny reálneho času

ESP32 má integrovaný kryštálový oscilátor, predstavujúci elektrický obvod, ktorý používa mechanickú rezonanciu vibrujúceho kryštálu z piezoelektrického materiálu (kremeň) pre vytvorenie elektrického signálu o konštantnej frekvencii – v prípade ESP32 je to 32 až 32,768 kHz. Táto frekvencia je využívaná pre sledovanie času. [17]

Presnosť je podľa výrobcu uvedená v katalógovom liste ± 20 PPM, z čoho môžeme zistiť chybu nasledujúcim výpočtom:

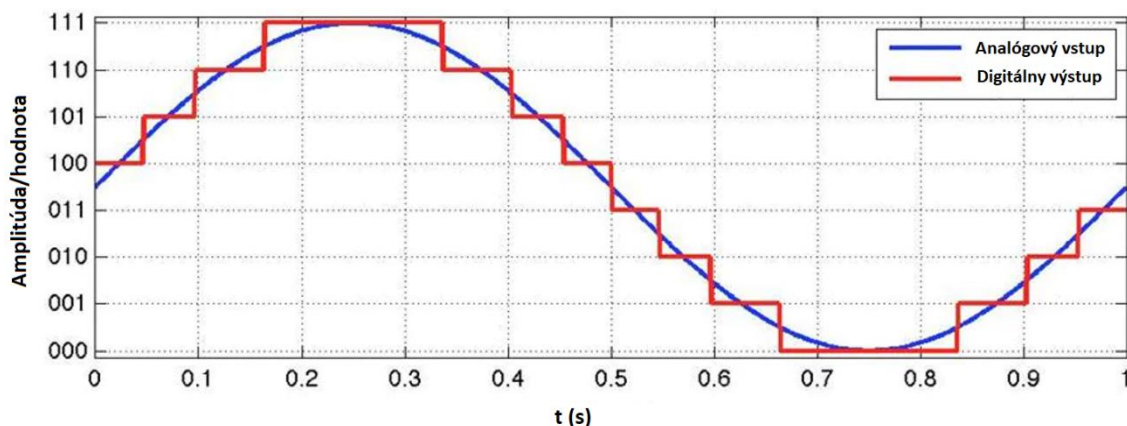
$$\frac{\pm 20}{1\,000\,000} = \pm 0.002\%. \quad (5.1)$$

Z tohoto výsledku sa môže uvažovať, že po 30 dňoch (čo predstavuje 2 592 000 sekúnd) sa pri kontinuálnom sledovaní času pomocou interného kryštálového oscilátoru bude odchyľovať od skutočného času o ± 52 sekúnd, po 60 dňoch potom o ± 104 sekúnd atď. Hodiny reálneho času ako súčasť mikrokontroléru sú nevyhnutné pre aplikáciu senzorového tagu, kedy vzniká potreba sledovať reálny čas i počas režimu spánku.

5.4 A/D prevodník

Analógové signály, ktoré sú výstupom analógových zariadení, majú kontinuálny priebeh, ktoré bez ďalšieho spracovania mikrokontrolér nerozpozná, pretože dokáže iba snímať „hladiny“ napätia, ktoré závisia na rozlíšení A/D prevodníku a na napájaní systému.

Digitálne signály sú reprezentované postupnosťou diskrétnych hodnôt, kde je analógový signál rozdelený na menšie sekvencie (Obrázok 13), ktoré závisia na časovom úseku alebo vzorkovacej frekvencii. [18]



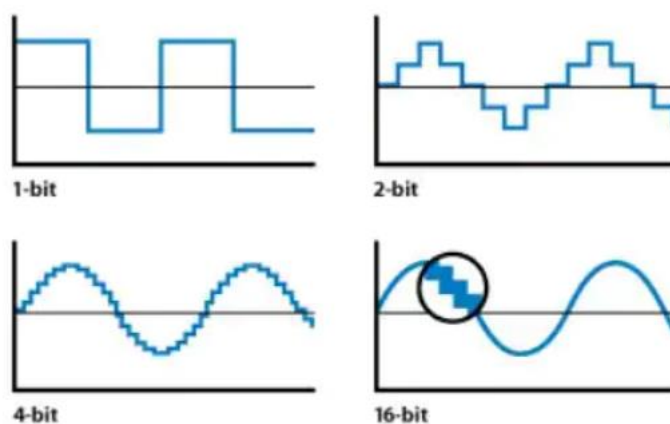
Obrázok 13: Porovnanie analógového vstupného signálu a zdigitalizovaného výstupného signálu. Na základe [18]

A/D prevodníky sledujú postupnosť pri konverzii analógových signálov na digitálne. Najprv sa signál navzorkuje, následovne sa kvantifikuje pre určenie rozlíšenia signálu a nakoniec sa nastaví binárne hodnoty, ktoré sa pošlú do systému pre čítanie digitálneho signálu. [18]

A/D prevodníky sú súčasťou všetkých analógových pinov mikrokontroléru ESP32 a využitie nachádzajú pri práci so zariadeniami, ktorých výstupom je analógový signál ako napríklad senzor MiCS-6814 použitého pre aplikáciu senzorového tagu.

5.4.1 Rozlíšenie A/D prevodníku

Rozlíšenie A/D prevodníku sa dá interpretovať ako jeho presnosť. Presnosť A/D prevodníku sa dá určiť jeho bitovou dĺžkou. Vzťah medzi bitovou dĺžkou A/D prevodníku a presnosťou je zobrazený na obrázku 14. [18]



Obrázok 14: Vzťah medzi bitovou dĺžkou A/D prevodníku a jeho presnosťou. Prezaté z [18]

Z obrázku 14 je zjavné, že s pribúdajúcim počtom bitov je väčšia presnosť vzorkovania A/D prevodníku. Pre výpočet skutočnej veľkosti napätia z A/D prevodníku sa používa nasledujúci vzťah:

$$V_{A/D} = A/D_{reading} \cdot \frac{V_{system}}{N}, \quad (5.2)$$

kde:

$V_{A/D}$ vypočítaná hodnota skutočného napätia;

V_{system} napätie systému ($V_{ESP32} = 3.3V$);

$A/D_{reading}$ hodnota A/D prevodníku (dá sa čítať napríklad pomocou sériového monitoru v Arduino IDE/LCD displayom);

V prípade ESP32, ktoré využíva 12-bitové A/D prevodníky, bude počet úrovní $N = 4096$:

$$N = 2^n, \quad (5.3)$$

kde:

N celkový počet úrovní A/D prevodníku;

n bitová dĺžka A/D prevodníku (12-bitov pre ESP32).

Tabuľka 5: Prehľad rôznych presností A/D prevodníkov podľa bitovej dĺžky 3,3V systému. Na základe [18]

Bitová dĺžka ADC	Počet úrovní	Veľkosť kroku
8-bit	256	128,91 mV
10-bit	1024	3,22 mV
12-bit	4096	805,66 μ V
16-bit	65536	50,35 μ V
18-bit	262144	12,59 μ V
20-bit	1048576	3,15 μ V
24-bit	16777216	196,69 nV

V tabuľke 5 je korelácia medzi počtom bitov A/D prevodníku a veľkosťou kroku zreteľná, kde sa s pribúdajúcim počtom bitov skok medzi jednotlivými úrovňami zjemňuje, čo znamená, že prevodník dokáže podávať presnejšie údaje o meraných hodnotách.

Mikrokontrolér ESP32 je vybavený 12-bitovým A/D prevodníkom, ktorý je svojím rozlíšením vhodný pre aplikáciu navrhovaného senzorového tagu.

5.5 Pamäť FLASH ESP32

Použitý mikrokontrolér ESP-wroom-32d je vybavený 4MB pamäťou FLASH. Dáta uložené do pamäte v nej ostávajú aj po vypnutí/resetovaní zariadenia. Pamäť FLASH je veľmi podobná pamäti EEPROM – obe sú energeticky nezávislé.

Pamäť FLASH má jedno podstatné obmedzenie, ktorým je počet zápisov, ktorý dokáže pamäť zniesť. Limit počtu zápisov sa pohybuje niekde medzi 10 000 až 100 000. Na druhú stranu je čítanie dát uložených v pamäti neobmedzené.

5.6 Programovacia platforma pre ESP32

Espressif Systems na svojich internetových stránkach ponúka radu užitočných programovacích nástrojov, vrátane bezplatného nástroja na programovanie modulov. Je to napríklad programovacie prostredie MSYS2. Je dostupná zostava ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework). Tieto nástroje doporučené a sprístupnené výrobcom sú určené skôr pre pokročilejších užívateľov. [19]

Pre programovanie mikroprocesoru ESP32 (čo sa týka menej skúsených programátorov) je najčastejšie používanou platformou Arduino IDE, doplnené potrebnými knižnicami pre komunikáciu s ESP32. Praktičnosť programovania za použitia platformy Arduino IDE spočíva v tom, že sa program môže písať rovnakou syntaxou ako pri programovaní bežných Arduino dosiek s využitím kompilátoru GCC.

Arduino IDE používa programovací jazyk Wiring. Tento jazyk je založený na jazyku C a C++. Oproti jazykom C a C++ je v jazyku Wiring programovanie uľahčené veľkým počtom funkcií, ktoré uľahčujú komunikáciu s vnútornými obvodmi (časovače, pamäte) a s perifériami cez vstupné/výstupné porty.

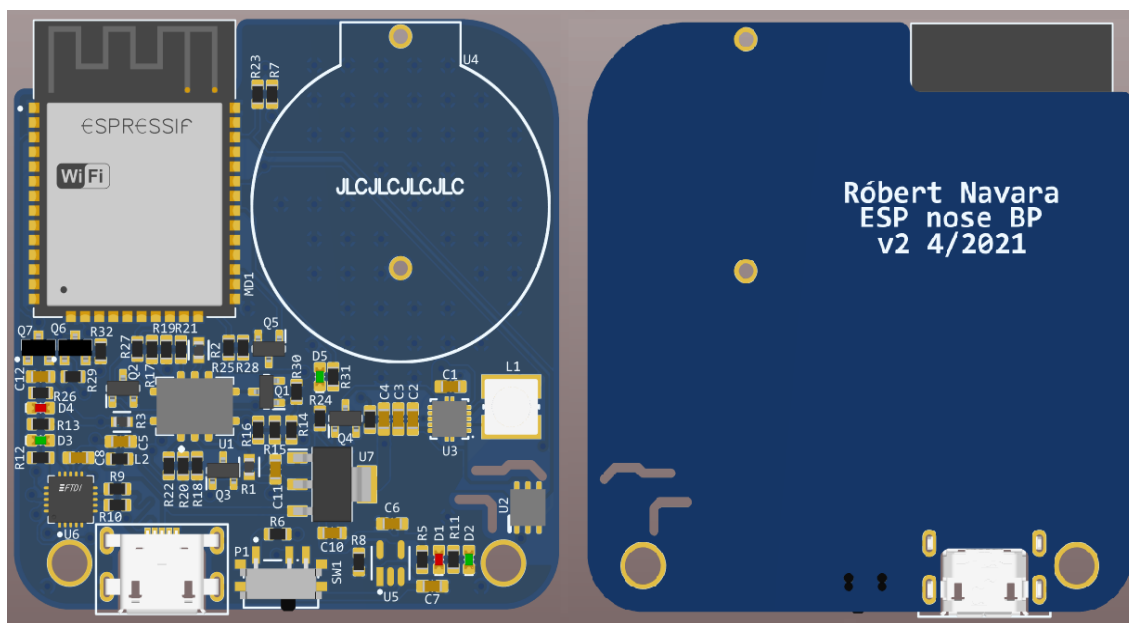
6. NÁVRH A REALIZÁCIA PROTOTYPU TAGU PRE MONITOROVANIE POTRAVÍN S ESP32

Celý koncept aplikácie bol vytvorený v programe Altium Designer. Tento softvér ponúka nespočetné množstvo vymožeností a funkcií ako napríklad:

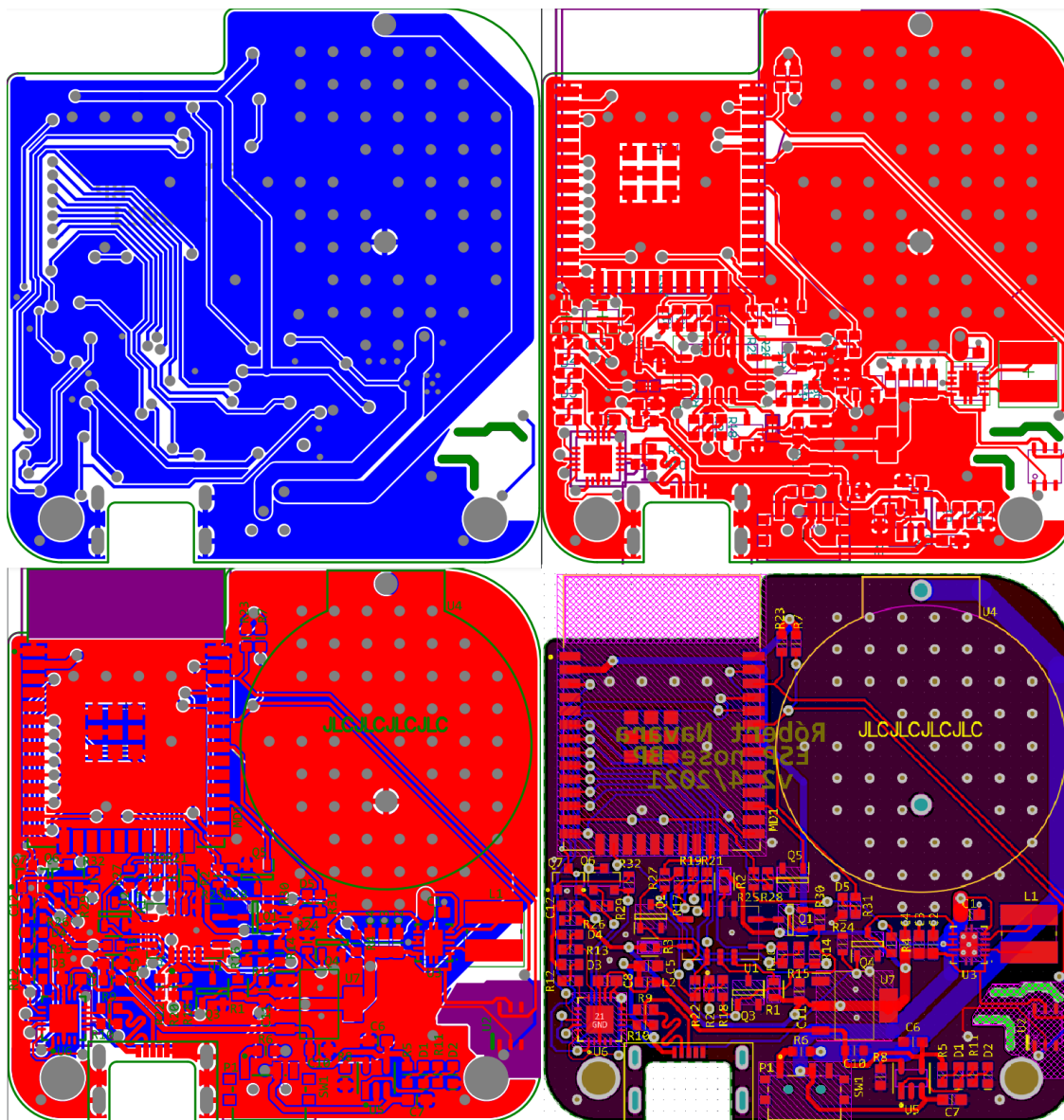
- pokročilé trasovanie ciest DPS
- podpora špičkového dizajnu dosiek rigid-flex
- nástroje na správu údajov
- nástroje na opätovné použitie dizajnu
- odhad a sledovanie približných nákladov v reálnom čase
- 3D vizualizácie atď.

Všetky tieto funkcie sú zahrnuté v rámci jediného jednotného návrhového prostredia, navrhnuté tak, aby poskytovali optimálnu produktivitu. Jednotná povaha softvéru Altium Designer umožňuje plynulý pohyb konštrukčných údajov z jednej dizajnovej sféry do druhej. Altium Designer obsahuje editory a náležitosti potrebné na vykonanie všetkých aspektov procesu vývoja elektronických obvodov.

Pre vyššie spomenuté kvality bol tento softvér zvolený pre návrh senzorového tagu pre monitorovanie potravín.



Obrázok 15: Náhľad na model navrhnutého senzorového tagu v Altium Designer



Obrázok 16: Náhľad na jednotlivé vrstvy DPS a spojenie vrstiev navrhnutých v Altium Designer

Obrázky 15 a 16 predstavujú návrhy a zobrazenie DPS softvérom Altium Designer, ktorý dokáže vytvoriť náhľad na 3D model navrhnutého zariadenia, náhľad na jednotlivé vrstvy, osadené súčiastky a iné.

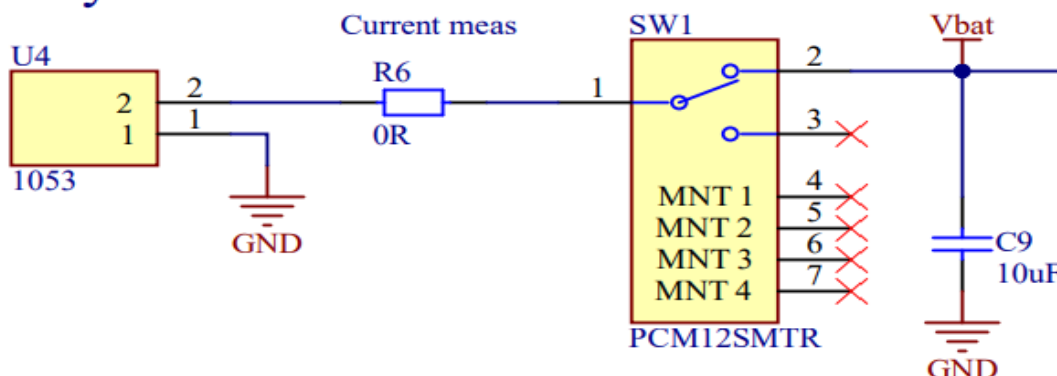
Takýto návrh sa dá zaslať firme podľa výberu, ktorá na objednávku dosku plošných spojov na jeho základe vytvorí.

6.1 Použitý hardvér a jeho význam v obvode

Pre túto aplikáciu boli zvolené súčiastky tak, aby bol ekonomicky čo najnenáročnejší, a zároveň aby návrh efektívne splňoval všetky požiadavky.

6.1.1 Blok napájania

Battery holder



Obrázok 17: Schéma zapojenia - zdroj napájania, nulový odpor pre meranie prúdu a vypínač

Celé zariadenie je napájané Li-ionovou mincovou 3,6V dobíjateľnou batériou o kapacite 120mAh typu CR2450. Táto relatívne lacná dobíjateľná batéria dokáže v navrhovanej aplikácii zabezpečiť dostatočne veľký zdroj energie.

Odpor R6 predstavuje nulový odpor, pomocou ktorého je možné zmerať a porovnať odber prúdu z napájacieho zdroja počas aktívneho režimu a počas režimu spánku.

Zariadenie sa dá jednoducho vypnúť pomocou vypínaču PCM12SMTR v prípade, že sa nevyužíva. Schéma tohoto bloku je zobrazená na obrázku 17.

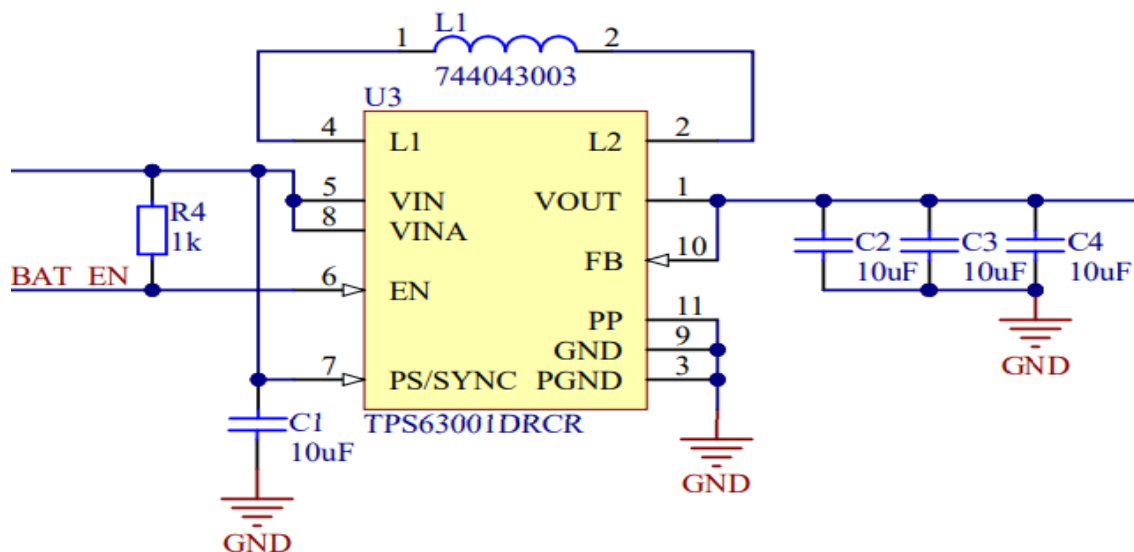
6.1.2 Prevodník Buck/Boost

Podstatnou súčasťou obvodu je prevodník Buck/Boost, ktorý reguluje napájanie zdroja a prevedie ho na nominálnu hodnotu, čo je v prípade mikrokontroléru ESP32 3,3V.

Prevodník TPS63001 využíva radič pulznej šírkovej modulácie (PWM) s pevnou frekvenciou, využívajúci synchrónne usmernenie na dosiahnutie maximálnej účinnosti. [20]

Pri nízkych zaťažovacích prúdoch prejde prevodník do režimu úspory energie, aby udržal vysokú účinnosť v širokom rozsahu prúdového zaťaženia. Tento úsporný režim sa dá vypnúť, čím sa prinúti prevodník pracovať na pevnej spínacej frekvencii.

Buck/Boost 3.3V converter



Obrázok 18: Schéma zapojenia Buck/Boost prevodníku TPS63001

Výstupné napätie je nastaviteľné pomocou odporového deliča napätia, alebo sa ponechá pevné výstupné napätie čipu (3,3V).

Súčiastka je zapúzdzrená v púzdre VSON(10) o rozmeroch 3,00 x 3,00mm. [20]

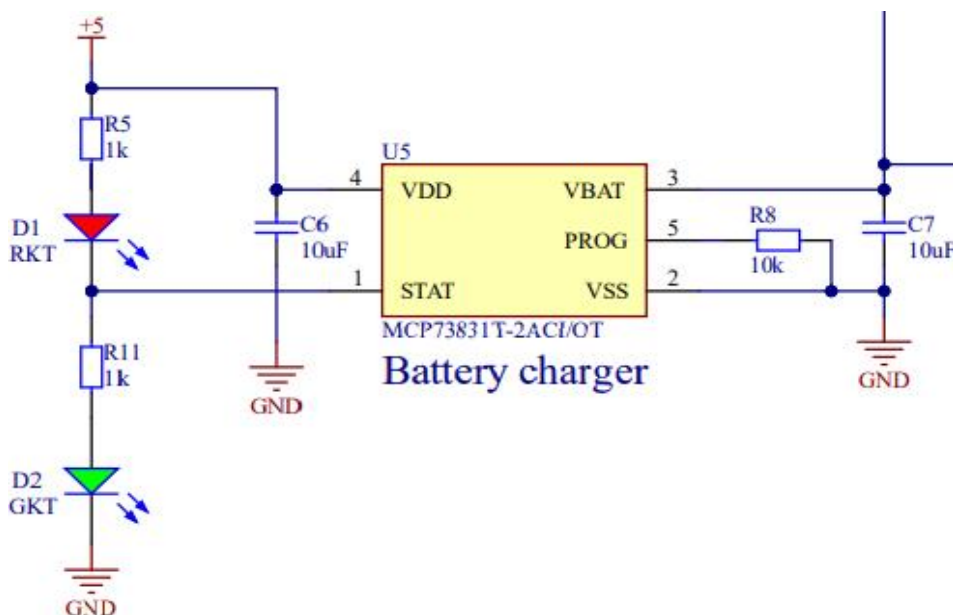
6.1.3 Nabíjací obvod pre znovu dobíjací zdroj

Pri danej aplikácii je zber dát prevedený pomocou tagu s vlastným zdrojom napájania, ktorý je znovu dobíjací. Uloženie a vyhodnotenie dát uložených v ESP32 sa musí previesť pomocou pripojenia cez USB port na PC, na čom je praktické využitie tohoto nabíjacieho systému založené.

Zariadenie MCP73831/2 je vysoko pokročilý lineárny radič správy nabíjania, vhodný pre použitie v priestorovo obmedzených a nákladovo citlivých aplikáciách. Vďaka jeho malým rozmerom a nízkym počtom externých komponentov na realizáciu je ideálny pre prenosné aplikácie. [21]

MCP73831/2 využíva nabíjací algoritmus konštantného prúdu/napätia s voliteľnou predbežnou úpravou a ukončením nabíjania. Konštantná regulácia napätia je dostupná v módoch: 4,20V; 4,35V; 4,40V; 4,50V. Konštantná hodnota prúdu je nastaviteľná jediným externým rezistorom.

Súčiastka je zapúzdzrená v púzdre 5-Lead, SOT-23 o rozmeroch 2,90 x 2,80mm. [21]



Obrázok 19: Schéma zapojenia nabíjacieho obvodu MCP73831T

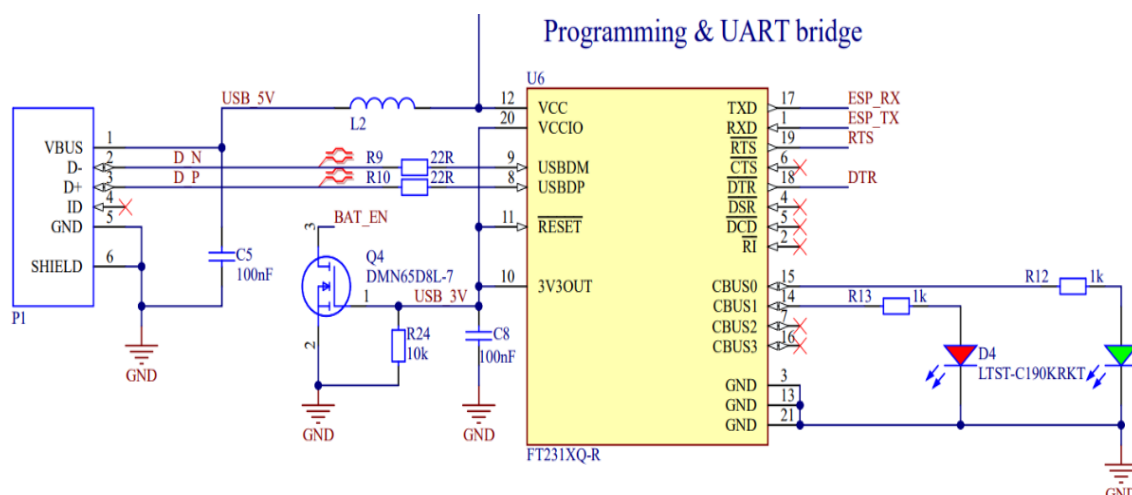
6.1.4 UART most

Podstatnou súčasťou zariadenia je USB radič FT231X, ktorý zabezpečuje komunikáciu medzi PC a UART obvodom mikrokontroléru, vďaka ktorému je možné nahrávať požadovaný firmvér do mikrokontroléru ESP32.

FT231X zjednodušuje USB implementácie a redukuje počet externých komponentov integráciou 2048 bajtovej MTP pamäte, ktorá ukladá charakteristiky zariadenia a CBUS I/O konfigurácie. Radič obsahuje vlastný oscilátor, takže nepotrebuje externý kryštál. [22]

Podporované sú taktiež veľké rozpätie rýchlosti komunikácie (300 baud – 3 Mbaud), široký 512 bajtový buffer, detektor USB nabíjania batérie, integrovaný +3,3V prevodník úrovni pre USB I/O a iné. [22]

Podporované sú ovládače pre najpoužívanejšie systémy ako napríklad Windows 7, 8, 10, ale aj Mac OS-X, Linux, Android atď., takže je zariadenie prístupné prakticky na akomkoľvek operačnom systéme, ktorého zariadenie má príslušný USB 2.0 port. FT231X je dodávané predprogramované s unikátnym USB sériovým číslom. Súčiastka je zapázdrená v púzdre 20 Pin QFN o rozmeroch 4,00 x 4,00mm. [22]



Obrázok 20: Schéma zapojenia UART mostu FT231X

6.1.5 Senzor MiCS-6814

Pre návrh senzorového tagu sa použil analógový, presný a cenovo nenáročný MEMS senzor MiCS-6814, ktorý je schopný merať koncentrácie látok uvedených v tabuľke 6. [23]

Tabuľka 6: Prehľad detekovateľných látok senzorom MiCS-6814. Na základe [23]

Detekovateľné látky	Rozlíšenie [ppm]
Oxid uhoľnatý CO	1 - 1000
Oxid dusičitý NO ₂	0.05 - 10
Etanol C ₂ H ₅ OH	10 - 500
Vodík H ₂	1 - 1000
Amoniak NH ₃	1 - 500
Metán CH ₄	> 1000
Propán C ₃ H ₈	>1000
Iso-bután C ₄ H ₁₀	>1000

Senzor MiCS-6814 sa skladá z troch nezávislých senzorov, z ktorých každý dokáže rozpoznať viac než jednu látku. [23]

Pre snímanie hladiny amoniaku kaziaceho sa mäsa sa využije NH₃ senzor. Nevyužitie senzory CO a NO₂ a ich schopnosť snímať hladiny viacerých látok predstavujú možnosť rozšírenia tagu pre iné aplikácie.

6.1.5.1 Princíp funkcie snímania senzorom MiCS-6814

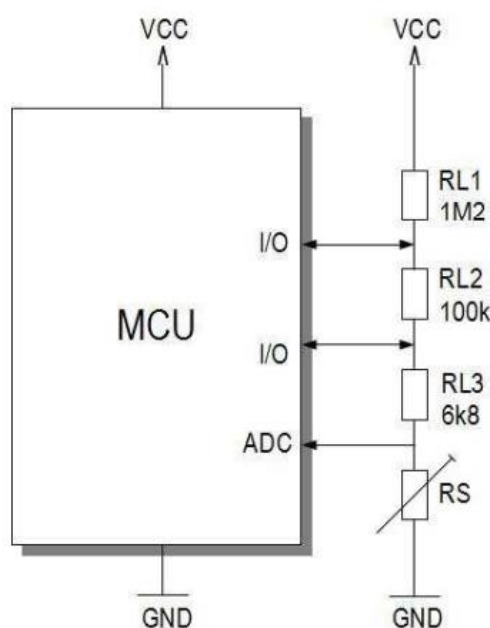
Schéma na obrázku 21 predstavuje princíp funkcie senzoru MiCS-6814. Externé pull up rezistory sú pripojené na GPIO piny mikrokontroléru, ktoré sú schopné priviesť napätie systému (v tomto prípade 3,3V).

Tieto rezistory sú zapojené v sérii s premenlivým rezistorom senzoru, ktorý sa mení v závislosti na koncentrácii prítomnej snímanej látky. Keďže sa jedná o jednoduchý napäťový delič, so zmenou hodnoty odporu sa zmení rozdelenie napätia na príslušných rezistoroch.

Výstupné napätie číta A/D prevodník príslušného pinu senzoru. Podľa rovnice (5.2) sa vypočíta skutočná hodnota napätia na tomto rezistore.

Podľa rovnice pre výpočet napätia na záťaži deliča napätia (6.1) sa úpravou tejto rovnice odvodí veľkosť odporu na premenlivom odpore senzoru R_s .

$$V_{ADC} = \frac{3,3 \cdot R_s}{R_s + R_{L1} + R_{L2} + R_{L3}} \quad (6.1)$$



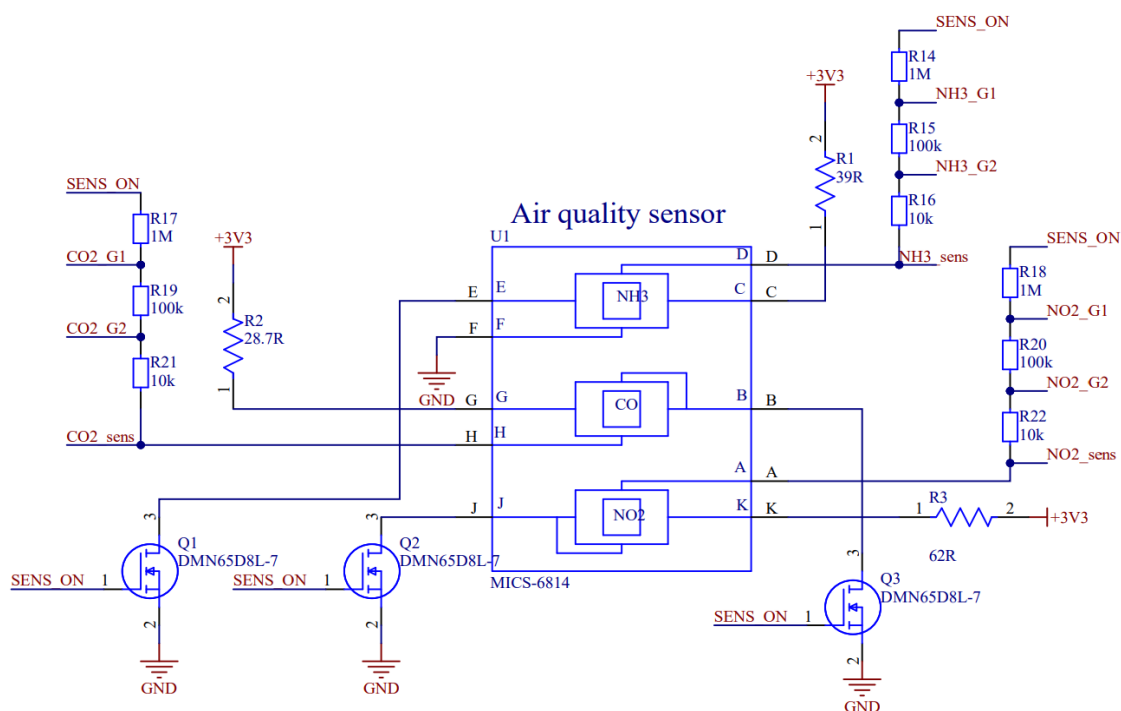
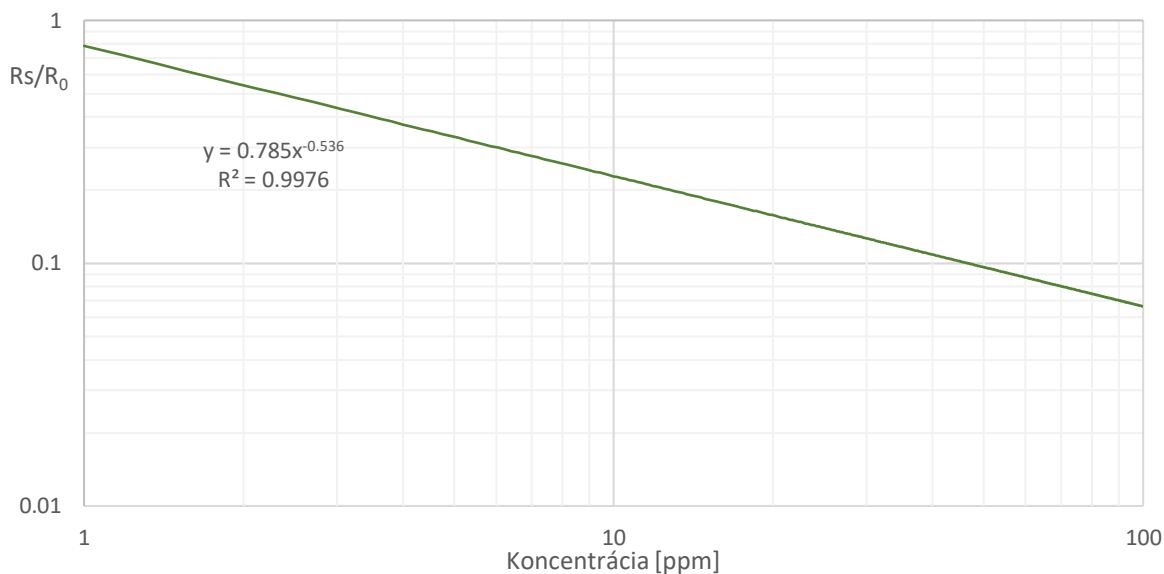
Obrázok 21: Princíp funkcie snímania hladiny látok senzorom MiCS-6814. Prevzaté z [23]

Pre zistenie pomeru R_s/R_0 sa musí previesť kalibrácia senzoru. Kalibrovaná hodnota odporu na "čistom vzduchu" sa stanoví v prostredí, v ktorom sa bude pravidelne merať.

Pre získanie konštanty R_0 je možné potom namerané hodnoty spriemerovať a dosadiť do rovnice regresie uvedenej v grafe 1 pre určenie koncentrácie nameranej látky v ppm.

V návrhu sú na piny B, E a J senzoru mics-6814 zapojené driny MOSFET tranzistorov, funkciou ktorých je spínanie zahrievania senzoru vždy so započatím merania – teda privedenia napätia na pin „sens_on“, ktorý má senzor spoločný s hradlami týchto MOSFET tranzistorov. Senzor je zapúzdrený v púzdre MiCS o rozmeroch 5,00 x 7,00 x 1,55mm.

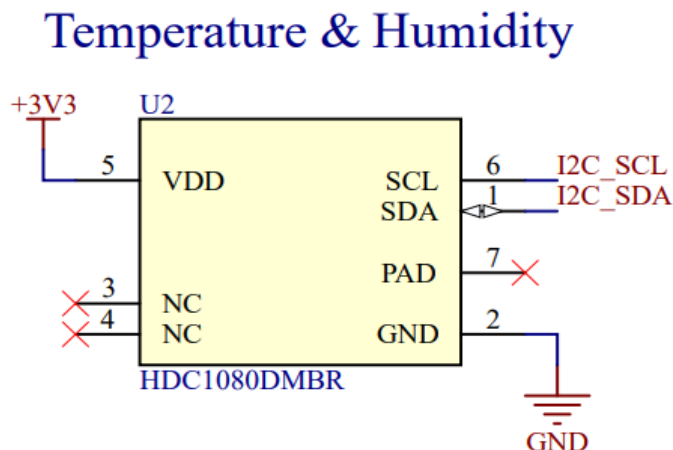
Graf 1: Závislosť pomeru odporov R_s/R_0 na koncentrácii látky v ppm – senzor NH₃.
Na základe [23]



Obrázok 22: Schéma zapojenia senzoru MiCS-6814

6.1.6 Senzor teploty a relatívnej vlhkosti HDC1080

HDC1080 predstavuje digitálny senzor teploty a relatívnej vlhkosti s výbornou presnosťou a nízkym odberom prúdu. Senzor sa predáva už nakalibrovaný. [24]



Obrázok 23: Schéma zapojenia senzoru HDC1080

Podľa výrobcu je presnosť senzoru uvedená nasledovne:

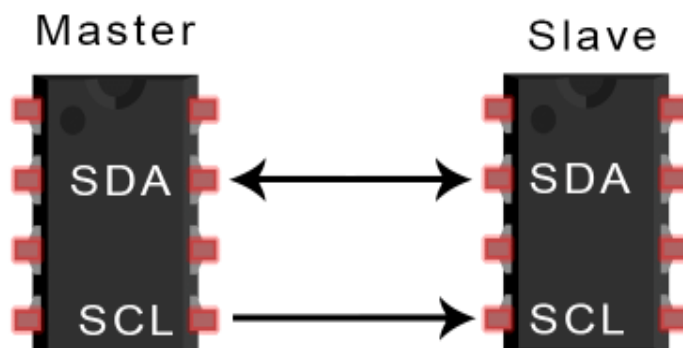
- Presnosť meraných hodnôt relatívnej vlhkosti $\pm 2\%$
- Presnosť meraných hodnôt teploty $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. [24]

Senzor je nízkoodberový a v režime spánku vykazuje odber prúdu $\sim 100\text{ nA}$, čo je pre aplikáciu senzorového tagu, ktorý vyžaduje čo najmenší odber, veľmi výhodné. [24]

Pre komunikáciu s mikrokontrolérom využíva senzor HDC1080 zbernicu I²C, ktorá využíva dva spoje:

- SDA – linka jednotiek „master a slave“ pre zasielanie a prijímanie dát,
- SCL – linka, ktorá nesie hodinový signál,

kde mikrokontrolér ESP32 je master a senzor HDC1080 je slave. [25]



Obrázok 24: Master – slave komunikácia cez I²C zbernicu. Prevzaté z [25]

I²C predstavuje komunikačný protokol, takže dáta sú transferované bit po bite cez linku SDA. [25]

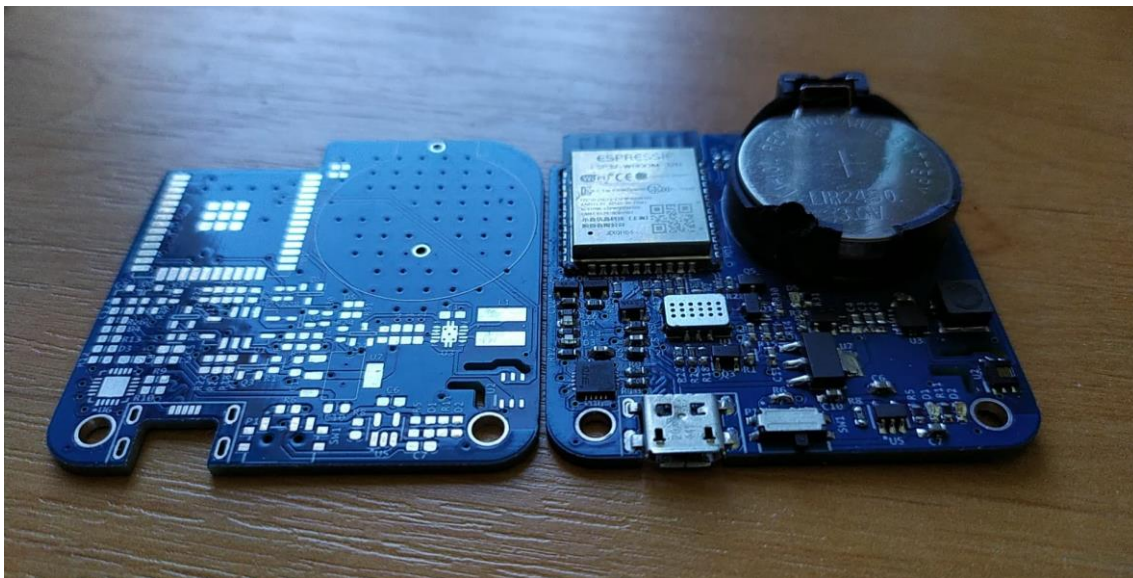
Podobne ako SPI, zbernica I²C je synchronná, takže bitový výstup je synchronizovaný s vzorkovaním bitov hodinovým signálom zdieľaný medzi jednotkami master a slave. Hodinový signál je vždy ovládaný jednotkou master. [25]

Pre zahájenie komunikácie jednotky master s jednotkou slave, musí master najprv adresovať jednotku slave cez bajt adresy slave. Táto adresa pozostáva zo 7 adresových bitov a smerový bit, ktorý označuje zámier previesť čítanie alebo operáciu zápisu. [25]

Senzor HDC1080 dokáže pracovať v dvoch režimoch: režim spánku a režim merania. Po spustení je HDC1080 v režime spánku. V tomto režime senzor čaká na I²C vstup mikrokontroléru pre spustenie merania. Akonáhle obdrží tento príkaz, prepne sa senzor do režimu merania. Senzor je pripravený merať už po 15ms po prepnutí do režimu merania. Po dokončení merania sa senzor znovu prepne do režimu spánku. Súčiastka je zapúzdrená v púzdre PWSO (6-pin) DMB o rozmeroch 4,00 x 4,00mm. [25]

6.2 Realizácia senzorového tagu

Návrh popísaný v kapitole 6 bol zaslaný firme JLCpcb, ktorá na objednávku dosku plošných spojov realizovala.



Obrázok 25: Neosadená DPS a osadená DPS vedľa seba

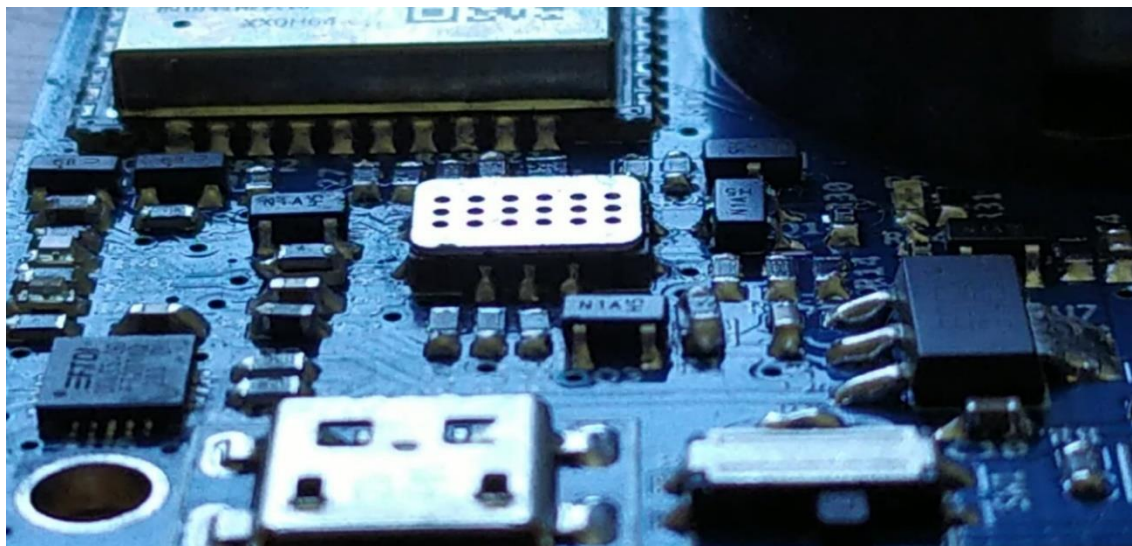
V okolí footprintu pre senzor HDC1080 bolo navrhnuté frézovanie pre zníženie efektu zachytávania tepla dosky plošných spojov senzorom.

Pre spájkovanie súčiastok na navrhnutú dosku plošných spojov bola použitá spájkovacia zliatina SnPb63/37.

Z dôvodu nedostupnosti hot-platu/pretavovacej pece pre súčiastky vyžadujúce spájkovanie pretavením sa pre roztavenie spájkovacej zliatiny použil horúci vzduch a to

u senzoru HDC1080, MiCS-6814 a čipu FTDI. Zhotovená neosadená doska plošných spojov ako aj osadená doska plošných spojov sú znázornené na obrázku 25.

Mikrokontrolér ESP32 a pasívne súčiastky ako rezistory, kondenzátory atď. sa zaspájkovali ručnou spájkovačkou. Vzniknuté spoje sú zobrazené na obrázku 26.



Obrázok 26: Detail na vzniknuté spoje

Spoje vzniknuté spájkovaním preukázali svoju elektrickú a mechanickú pevnosť pri niekoľkých príležitostiach neúmyselného spadnutia zariadenia z výšky pracovného stolu. Zariadenie i napriek tomuto hrubému zaobchádzaniu fungovalo.



Obrázok 27: Premieriavanie napätia zahrievacích rezistorov senzoru mics-6814 R1, R2 a R3

Následne boli prevedené úspešné elektrické testy pri meraní elektrického napätia na pinoch určených pre ohrev senzoru. Dosiahnuté hodnoty zahrievacieho napätia návrhom približne odpovedajú hodnotám teoretickým, čo zabezpečuje funkciu senzoru. Namerané hodnoty sú znázornené na obrázku 27.

7. NAVRHNUTÝ SOFTVÉR A FIRMVÉR

7.1 Firmvér

Ako bolo uvedené v kapitole 5.6, firmvér snímacieho zariadenia bol navrhnutý cez platformu Arduino IDE, ktorá využíva jazyk Wiring, ktorý je modifikáciou jazyka C.

7.1.1 Setup

Funkcia `setup()` je zavolaná raz pri každom zapnutí/vypnutí, poprípade resetovaní zariadenia. Väčšinou sa využíva pre inicializáciu počiatočných stavov. Nastavuje sa názov zariadenia pri hľadaní využitím bluetooth, baud rate a veľkosť emulovanej pamäte EEPROM.

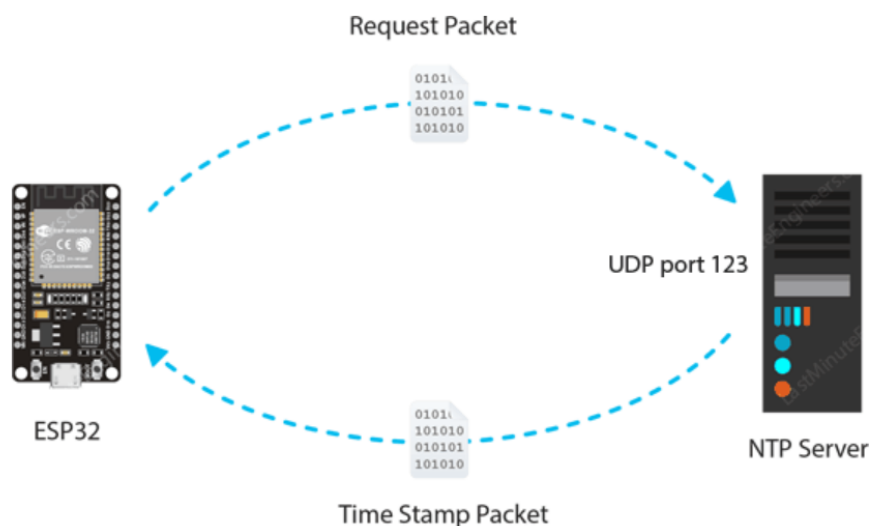
Baud rate predstavuje rýchlosť, ktorou sa transferujú informácie cez komunikačný kanál. V tomto prípade sa nastavil baud rate na hodnotu 9600 baud, čo znamená, že sériový port je schopný transferovať 9600 bitov za sekundu.

Pre zapisovanie hodnôt do FLASH pamäte ESP32 a ich čítanie sa využije knižnica EEPROM. Táto knižnica dokáže emulovať EEPROM pamäť využitím sektoru až 4 kB z celkových 4 MB FLASH pamäte. Funkcia `EEPROM.begin(512)` v tomto prípade emuluje 512 bajtov.

7.1.2 Synchronizácia a zaznamenávanie času

Pre aplikáciu snímania hladiny kontaminácie potravín je nevyhnutné sledovať a zaznamenávať informácie o čase merania.

Funkcia využíva schopnosť ESP32 pripojiť sa pomocou Wi-Fi k NTP serveru a zosynchronizovať čas.



Obrázok 28: Princíp synchronizácie času. Prevzaté z [26]

Dáta sú obdržané v podobe veľkého čísla, ktoré predstavuje počet sekúnd, ktoré ubehli od dátumu 01/01/1970. Toto číslo je ďalej spracované pomocou knižnice Time.h, a uložené do premenných, ktoré sa dajú naformátovať a vypísať ako čitateľný, ľudsky pojadateľný časový údaj.

Po zosynchronizovaní sa vypne Wi-Fi a následne sa vypíše hlásenie, že synchronizácia prebehla úspešne. Čas je ďalej sledovaný pomocou RTC mikrokontroléru ESP32.

7.1.3 Funkcie zadávania parametrov merania

Senzorový tag je naprogramovaný tak, že dokáže prijímať dáta jednak cez USB port z PC, alebo taktiež zo smartfónu pomocou bluetoothu.

Funkcia predstavuje spôsob prijímania a spracovania zadaných parametrov merania.

Návrh pracuje nasledujúcim spôsobom – užívateľ zadáva tri parametre:

- dobu trvania prevozu potraviny,
- počet opätovných meraní počas prevozu (v zmysle merať každých x minút),
- požadovaný počet riadkov dát pri každom zobudení zariadenia (po x minútach).

Na začiatku funkcie sa vždy deklaruje reťazec, do ktorého sa prepíše prijatý parameter. Parametre sú vždy posielané s príznakovým písmenom na začiatku reťazca. Pre čas to je písmeno t, pre počet opätovných meraní je to písmeno f a pre požadovaný počet dát písmeno m. Prijaté dáta sú teda napríklad vo formáte t1, f30, m10.

Pomocou podmienky IF/ELSE sa zisťuje, či boli dáta prijaté z PC alebo cez bluetooth z mobilného zariadenia, a nakoľko sa prijaté dáta zapisujú do rozdielnych reťazcov podľa ich pôvodu.

Následovne sa prijatý reťazec okrem počiatočného znaku prepíše do pripraveného reťazca. Tento sa následne konvertuje na datový typ integer pomocou funkcie atoi() a uloží sa ako parameter merania po vynásobení hodnotou 60 v minútach. Na záver sa vypíše hláška o zadaní parametru.

Funkcia, ktorá spracúva parameter opätovného merania je rozšírená o výpočet časovaču, ktorý sa použije pre režim spánku.

7.1.4 Funkcia merania a ukladania hodnôt do pamäte ESP32

Veľmi dôležitou funkciou je funkcia merania a ukladania hodnôt do pamäte, ktorá funguje následovne:

1. nastaví sa časovač pre režim spánku ESP32
2. do prvého bajtu pamäte sa vždy zapíše vypočítaná veľkosť dát, ktoré sa budú zapisovať iba raz
3. nastaví sa počítadla a relevantné piny sa nastaví do logickej 1 (3.3V)
4. čítanie a zapisovanie hodnôt do pamäte, kde jedna "sada" (alebo riadok) dát zaberá presne 24 bajtov

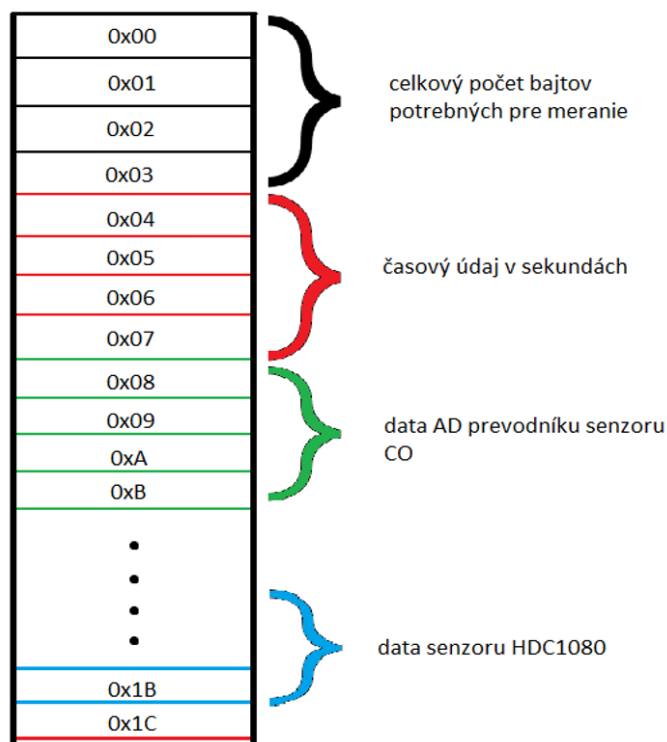
5. vypnutie zahrievania senzoru nastavením relevantných pinov do logickej 0 (0V)
6. režim spánku mikrokontroléru pre šetrenie energie
7. opakovanie cyklu od bodu 1 – 6 až do konca merania podľa nastaveného počítadla.

Uložené dáta sú v prípade prerušenia napájania čitateľné vďaka uloženej hodnote v prvom bajte FLASH pamäte, ktorá nesie presnú informáciu koľko dát sa má vyčítať. Princíp zapisovania hodnôt do pamäte zariadenia je znázornený na obrázku 29.

Ako bolo uvedené vyššie, jedna sada dát predstavuje 24 bajtov. Ak by teda užívateľ zadal dobu prevozu potraviny 2 hodiny, merať každých 30 minút a počet meraní 10, vyzeral by výpočet celkovej požadovanej pamäte nasledovne:

$$\frac{\text{zadaná doba prevozu}}{\text{merať každých } x \text{ minút}} \cdot \text{riadkov dát} \cdot 24 = \frac{120}{30} \cdot 10 \cdot 24 = 960 \text{ bajtov} \quad (7.1)$$

Zariadenie teda odmeria požadované hladiny látok 10-krát, uloží sa do režimu spánku na 30 minút a proces sa opakuje po dobu 120 minút. Vypočítaná hodnota 960 slúži ako počítadlo.



Obrázok 29: Princíp zapisovania dát do FLASH pamäte

7.1.5 Export dát z pamäte pre spracovanie

Po zapísaní nameraných hodnôt hladín požadovaných látok sú dáta uložené v pamäti FLASH zariadenia, odkiaľ je ich pre ďalšie spracovanie potrebné vyčítať. Čítanie hodnôt a posielanie na sériový port prebieha podobne ako pri ich zapisovaní.

Ako prvá sa prepíše hodnota z prvého bajtu pamäte do premennej znížená o hodnotu 4 a nastaví sa ako počítadlo. Ďalej sa nastaví počítadlo, ktoré bude počítat' od 4-tej adresy pamäte.

Dáta sa čítajú a posielajú na sériový port v nasledujúcom formáte:

Časový_údaj;CO_dáta; NO2_dáta;NH3_dáta; Temp_Dáta; RH_Dáta;

kde po každom piatom údaji začína nový riadok.

K čítaniu adries uložených dát slúži funkcia EEPROM.read_dataType(). Čítajú sa vždy datové typy presnej veľkosti, teda napríklad EEPROM.readULong a taktiež sa počítadlo o veľkosť tohoto datového typu posunie, aby sa predišlo akémukoľvek hardkódovaniu.

7.1.6 Hlavná slučka programu

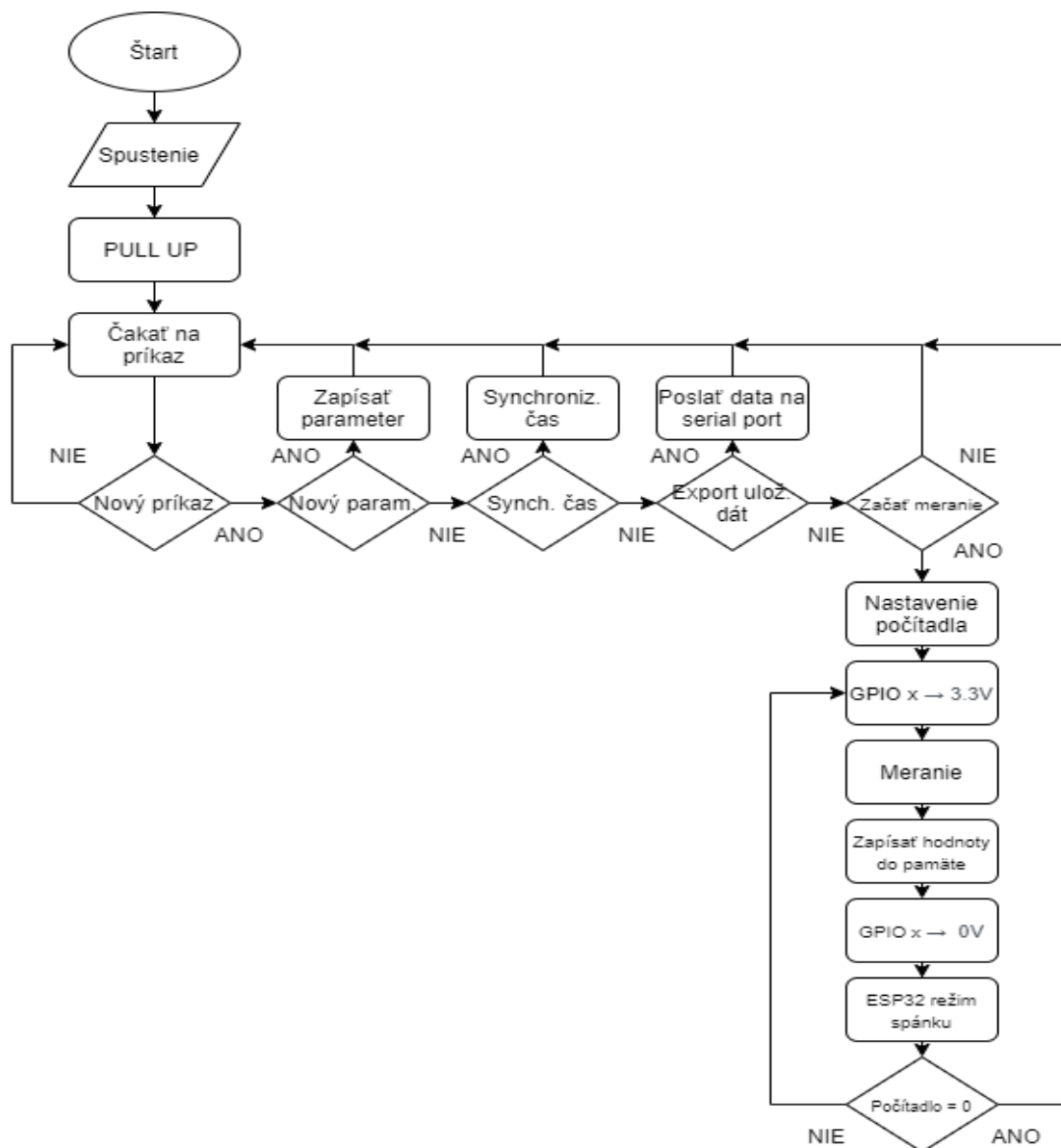
V hlavnej slučke programu sa čaká na vstup užívateľa. Zariadenie kontroluje tento vstup vo vnorenej slučke. Pri zadaní vstupu zariadenie túto vnorenú slučku opustí a pokračuje zisťovaním pôvodu dát tak, že skontroluje príznakový znak na prvej pozícii reťazca, čím následovne vyhodnotí aký príkaz bol zavolaný, a následovne zavolá príslušnú funkciu.

Po ukončení procesu sa znovu zariadenie zacyklí v slučke až kým užívateľ nezadá nový príkaz.

7.1.7 Vývojový diagram programu

Vývojový diagram (alebo aj Flowchart) je v podstate grafickou reprezentáciou krokov programu. Je využívaný pre znázornenie postupnosti algoritmov a programovacej logiky.

Využívaný je najmä pre zjednodušené zobrazovanie komplexných procesov a pre uľahčenie pochopenia významu ich funkcií.



Obrázok 30: Vývojový diagram firmwaru senzorového tagu

Vývojový diagram navrhnutého firmwaru senzorového tagu je zobrazený na obrázku 30. Z obrázku 30 je zjavná prehľadnosť programu v predošlých kapitolách. Vývojový diagram umožňuje taktiež ľahšie príležitosti pre prípadné naviazanie alebo rozšírenie programu.

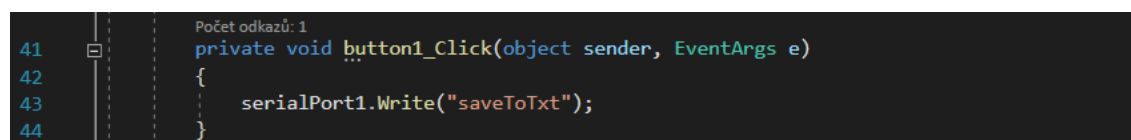
7.2 Softvér pre spracovanie nameraných dát a jazyk C#

7.2.1 Jazyk C#

Softvér pre spracovanie namerných dát bol navrhnutý v rozhraní Visual Studio 2019 v jazyku C#.

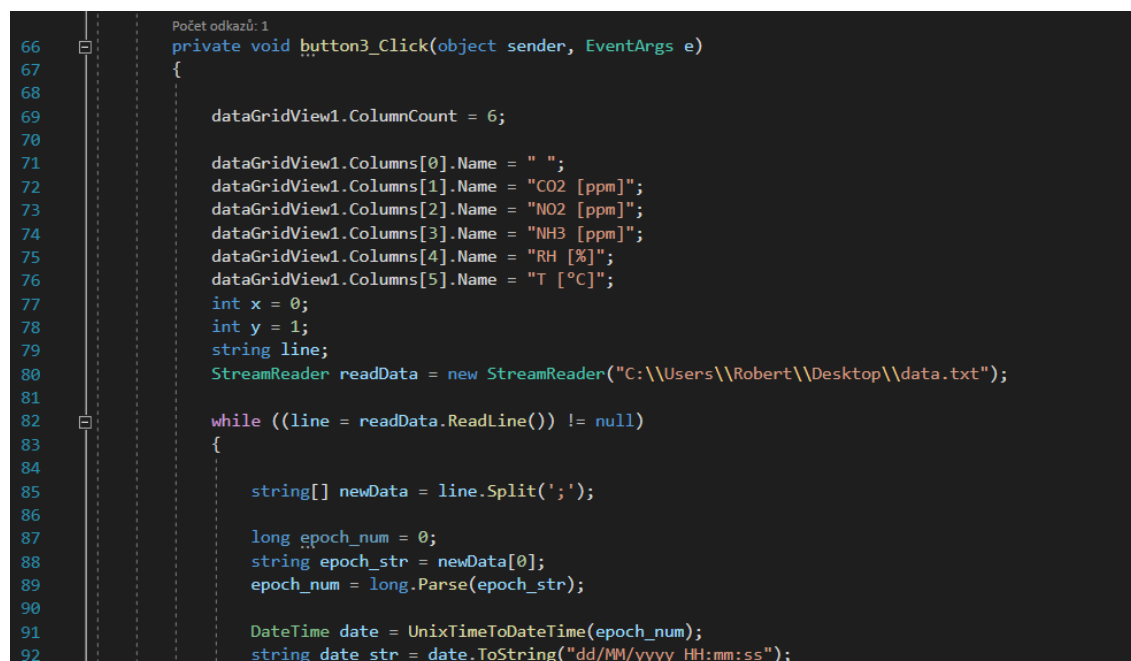
C# je jednoduchý, vysokoúrovňový objektovo orientovaný programovací jazyk vyvinutý firmou Microsoft zároveň s platformou NET Framework.

Microsoft založil C# na základe jazykov C++ a Java, a tak využíva syntax jazyka C. C# je možné využívať pre tvorenie databázových programov, webových aplikácií a stránok, webových služieb, formulárových aplikácií vo Windows, softvér pre mobilné zariadenia (PDA a mobilné telefóny) atď.



```
Počet odkazů: 1
41 private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
42 {
43     serialPort1.Write("saveToTxt");
44 }
```

Obrázok 31: Úryvok kódu – tlačítko príkazu pre uloženie dát do textového súboru



```
Počet odkazů: 1
66 private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
67 {
68
69     dataGridView1.ColumnCount = 6;
70
71     dataGridView1.Columns[0].Name = " ";
72     dataGridView1.Columns[1].Name = "CO2 [ppm]";
73     dataGridView1.Columns[2].Name = "NO2 [ppm]";
74     dataGridView1.Columns[3].Name = "NH3 [ppm]";
75     dataGridView1.Columns[4].Name = "RH [%]";
76     dataGridView1.Columns[5].Name = "T [°C]";
77
78     int x = 0;
79     int y = 1;
80     string line;
81     StreamReader readData = new StreamReader("C:\\Users\\Robert\\Desktop\\data.txt");
82
83     while ((line = readData.ReadLine()) != null)
84     {
85         string[] newData = line.Split(';');
86
87         long epoch_num = 0;
88         string epoch_str = newData[0];
89         epoch_num = long.Parse(epoch_str);
90
91         DateTime date = UnixTimeToDateTime(epoch_num);
92         string date_str = date.ToString("dd/MM/yyyy HH:mm:ss");
```

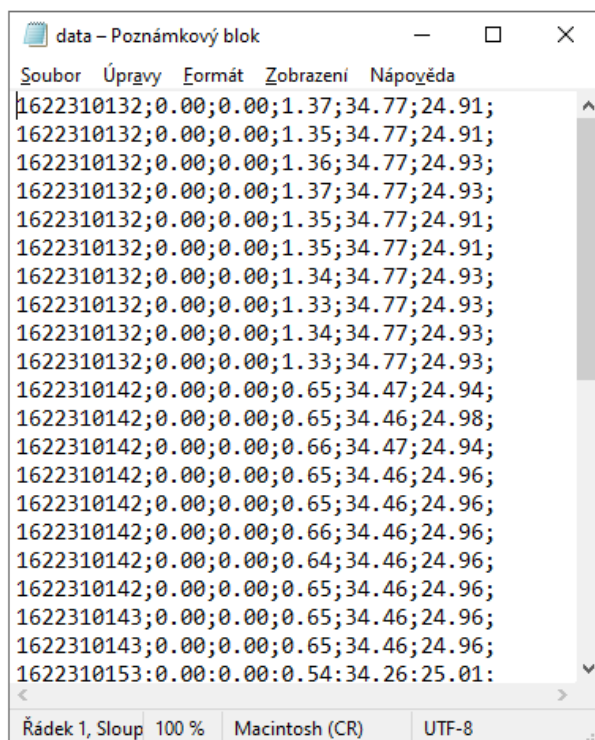
Obrázok 32: Úryvok kódu – formátovanie vyhodnocovacej tabuľky

Kód na obrázku 31 predstavuje funkciu, ktorá je zavolaná pri kliknutí na tlačítko v navrhnutom programe. V tomto prípade sa jedná o funkciu, ktorá odošle mikrokontroléru ESP32 cez sériový port dáta typu string “saveToTxt”, ktorý mikrokontrolér vyhodnotí, ako príkaz pre uloženie dát. Následne hodnoty vyčíta z pamäte a odošle ich riadok po riadku cez sériový port. Na rovnakom princípe sú založené funkcie pre zadávanie parametrov cez navrhnutý softvér a synchronizáciu času.

Riadky 71 až 76 na obrázku 32 predstavujú pevné nastavenie pomenovaní stĺpcov tabuľky – v tomto prípade názvy meraných hodnôt. Riadok 80 predstavuje funkciu čítania dát z vytvoreného textového súboru, v ktorom sú dáta uložené.

Slučka while je podmienená narazením na znak null, ktorý predstavuje termináciu datového reťazca. Ďalej sa s údajmi prevádza rôzne formátovanie, kde stredník slúži ako oddelovací znak.

Nakoľko je časový údaj zasielaný ako počet sekúnd, ktorý ubehol od dátumu 01/01/1970, musí byť taktiež naformátovaný. Na to existuje v jazyku C# jednoduchá funkcia, ktorá je zobrazená na obrázku 32, riadok 91.



Obrázok 33: Náhľad na namerané hodnoty teploty, relatívnej vlhkosti a koncentrácie amoniaku uložené v textovom súbore

Z textového dokumentu na obrázku 33 dokáže softvér spätne uložené data vyčítať, uložiť ich do prehľadnej tabuľky a taktiež vyniesť do grafickej závislosti.

7.2.2 Navrhnutý softvér pre spracovanie nameraných dát

Ako bolo spomenuté, senzorový tag uložené dáta dokáže predať inému zariadeniu pripojenému cez USB port.

Form1

Zadajte dĺžku merania (h)
1 OK

Merat' každých (x) minút
30 OK

Počet meraní každých x minút
10 OK

Začať meranie

Uložiť data do .txt

Vyhodnotiť data

Graf

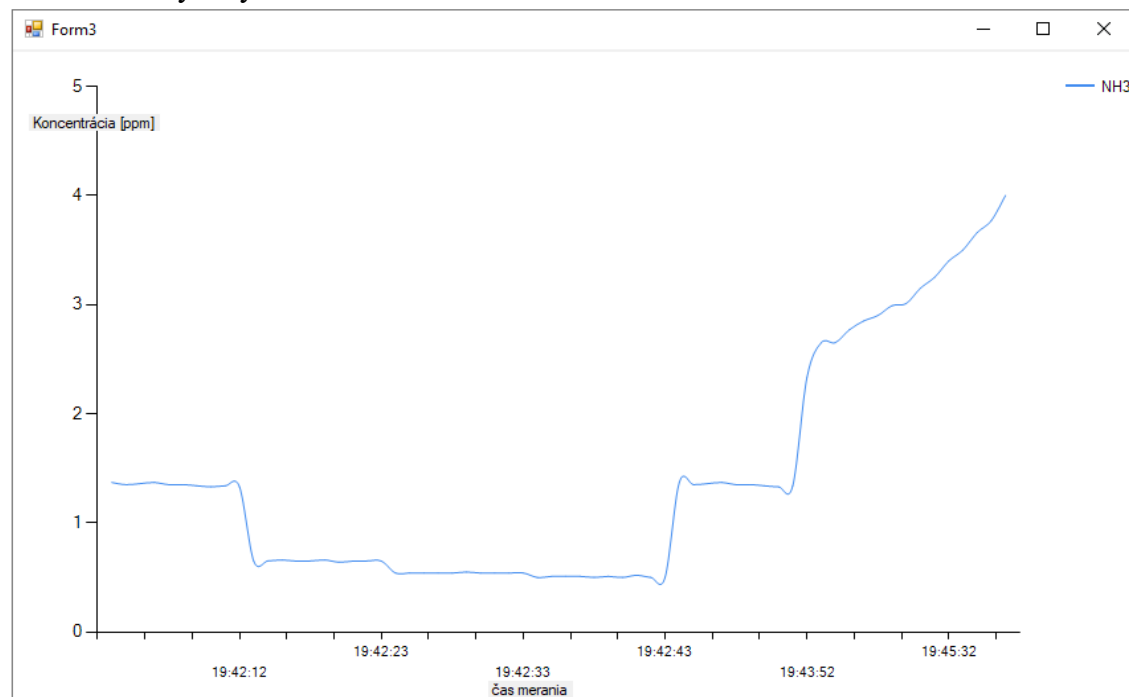
EEPROM FORMAT

Sync Time

	CO [ppm]	NO2 [ppm]	NH3 [ppm]	RH [%]	T [°C]
29.05.2021 19:42:12	0,00	0,00	1,37	34,77	24,91
29.05.2021 19:42:12	0,00	0,00	1,35	34,77	24,91
29.05.2021 19:42:12	0,00	0,00	1,36	34,77	24,93
29.05.2021 19:42:12	0,00	0,00	1,37	34,77	24,93
29.05.2021 19:42:12	0,00	0,00	1,35	34,77	24,91
29.05.2021 19:42:12	0,00	0,00	1,35	34,77	24,91
29.05.2021 19:42:12	0,00	0,00	1,34	34,77	24,93
29.05.2021 19:42:12	0,00	0,00	1,33	34,77	24,93
29.05.2021 19:42:12	0,00	0,00	1,34	34,77	24,93
29.05.2021 19:42:12	0,00	0,00	1,33	34,77	24,93
29.05.2021 19:42:22	0,00	0,00	0,65	34,47	24,94
29.05.2021 19:42:22	0,00	0,00	0,65	34,46	24,98
29.05.2021 19:42:22	0,00	0,00	0,66	34,47	24,94
29.05.2021 19:42:22	0,00	0,00	0,65	34,46	24,96
29.05.2021 19:42:22	0,00	0,00	0,65	34,46	24,96
29.05.2021 19:42:22	0,00	0,00	0,66	34,46	24,96
29.05.2021 19:42:22	0,00	0,00	0,64	34,46	24,96
29.05.2021 19:42:22	0,00	0,00	0,65	34,46	24,96
29.05.2021 19:42:23	0,00	0,00	0,65	34,46	24,96
29.05.2021 19:42:23	0,00	0,00	0,65	34,46	24,96

Obrázok 34: Náhľad na navrhnutý softvér pre odosielanie a spracovanie dát

Hlavnou úlohou tohoto softvéru je prevziať uložené dáta z pamäte tagu, naformátovať ich do tabuľky a vyhodnotiť.



Obrázok 35: Príklad grafického znázornenia priebehu merania

Softvér taktiež slúži k zadávaniu parametrov užívateľom. Tieto parametre sa zadávajú do textových polí a následne sa odošlú cez otvorený sériový port zariadeniu s ESP32 pomocou virtuálnych tlačidiel. ESP32 prijme dáta ako číslo s príznakovým písmenom a vyhodnotí, o aký príkaz sa jedná.

Na obrázku 34 je zobrazené rozhranie softvéru, kde je zjavná jeho jednoduchosť a priamosť. Zadajú sa tri parametre, naformátuje sa čas a začne sa meranie. Po skončení sa dáta musia uložiť do textového súboru, následne sa naformátujú a vyhodnotia v tabuľke s možnosťou grafického znázornenia.

7.3 Smartfónová aplikácia pre ovládanie senzorového tagu

Pre čo najväčšie využitie vymožeností mikrokontroléru ESP32 sa využije bluetooth pripojenie k mobilnému zariadeniu.

Mobilná aplikácia navrhnutá vo vývojovom prostredí MIT App inventor slúži ako jednosmerná aplikácia výhradne pre vzdialené, bezkontaktné zadávanie parametrov do senzorového tagu.

9:54 64

Screen1

ESP_NOSE

CONNECT TO TAG false

Zadajte dĺžku merania v hod OK

Merať každých x minút OK

Množstvo hodnôt OK

Synchronizovať čas

Spustiť meranie

Obrázok 36: Mobilová aplikácia pre senzorový tag

Podobne ako u PC softvéru, princíp funkcie je jednoduchý. Užívateľ zadáva 3 parametre, synchronizuje čas a spustí meranie. Vyhodnotenie dát sa prevedie pomocou navrhnutého programu na PC. Komunikácia medzi mobilným zariadením a mikrokontrolérom prebieha podobne ako u navrhnutého softvéru s tým, že sa data posielajú a prijímajú cez bluetooth.

8. PREVEDENIE EXPERIMENTU

Prvým krokom pred počatím experimentu je kalbrácia senzorov pre získanie konštanty snímacieho elementu R_0 „na čistom vzduchu“ typického prostredia merania – v našom prípade izbovej teploty a vlhkosti.

Najskôr sa senzory zahrejú a budú merať až pokiaľ sa hodnoty odčítané z A/D prevodníku neustália na približne konštantnej hodnote. Posledných x nameraných hodnôt spriemerujeme pomocou rovnice pre výpočet aritmetického priemeru

$$\overline{R_0} = (R_{0_1} + R_{0_2} \dots + R_{0_n}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{0_i} \quad (8.1)$$

a dostaneme konštantu R_0 potrebnú pre ďalšie výpočty. Vypočítaná hodnota $R_0 = 243,294 \text{ k}\Omega$.

Pre experiment sa použije vzorka čerstvého kuracieho prsného svalu. Vzorka sa ponechá pri izbovej teplote. Ku vzorke bude priložený senzorový tag, ktorý bude snímať zmeny hladiny amoniaku v okolí.

Postupom času začne prebiehať autolýza až hlboká autolýza mäsa urýchlená okolitými podmienkami. Mäso začne do okolitého prostredia vylučovať amoniak NH_3 , ktorého koncentráciu zachytí prítomný senzor.

Nárast koncentrácie amoniaku sa prejaví poklesom úbytku napätia na snímacom elemente R_s senzoru NH_3 , ktorý je spôsobený znížením rezistivity snímacieho elementu.

Úpravou a výpočtom podľa rovnice (6.1) dostaneme napätie na záťaži deliča odporového elementu R_s . Pri poznaní oboch hodnôt odporov ich môžeme dať do pomeru, čím získame hodnotu potrebnú pre dosadenie do upravenej rovnice regresie senzoru NH_3 z grafu 1:

$$\text{koncentrácia} = \frac{-0,536 \sqrt{\frac{R_s}{R_0}}}{0,785} [\text{ppm}], \quad (8.2)$$

čím dostávame výslednú koncentráciu amoniaku v okolí vyprodukovanú kaziacim sa mäsom.

Započatie experimentu prebehlo 31/05/2021 o 11:30. Do experimentálnej nádoby sa vložil kúsok čerstvého kuracieho prsného svalu. Táto nádoba sa uzavrela a začalo sa meranie. Počas experimentu sa mäso kontrolovalo a skúmali sa jeho senzorické vlastnosti po uplynutí jednej hodiny vždy od poslednej kontroly.

Experiment sčasti simuluje reálnu situáciu prevozu čerstvého mäsa, kedy nastane porucha chladiaceho boxu uskladňujúceho mäso. Experiment neuvažuje funkčný stav boxu za chladného stavu, ale iba poruchový stav, kedy sa prostredie oteplí a mäso je vystavené nevhodným okolitým podmienkam po dlhšiu dobu.



Obrázok 37: Náhľad na experimentálnu nádobku

Senzorový tag bol nastavený na dobu merania 24 hodín, pričom meral merať každých 60 minút 10 hodnôt. Pre zahriatie senzoru MiCS-6814 je naprogramované oneskorenie 2 minúty po privedení napätia. Po nameraní hodnôt sa uložil do režimu spánku pre šetrenie energie a pravidelne sa budil po 60 minútach podľa nastavenia.

Po ubehnutí 1 hodiny od posledného merania sa skontrolovali senzorické vlastnosti vzorky. Komentý boli uvedené do tabuľky č. 8. Významné zmeny senzorických vlastností vzorky boli v tabuľke 7 vyznačené červenou farbou. Prvá významná zmena nastala po 6 hodinách experimentu, kedy začala vzorka vydávať „mliečny“ zápach. Ďalšie zmeny boli zaznamenané 8 – 12 hodín po započatí experimentu, kedy sa tento zápach od kontroly ku kontrole mierne zväčšoval, kde o 21:30 sa začali viac prejavovať zmeny textúry a farby vzorky – prvé zaznamenanie proteolýzy mäsa, kedy bolo spozorované osliznutie povrchu.

Medzi 1:30 a 7:30 sa senzorické vlastnosti nekontrolovali, ale podľa nameraných hodnôt koncentrácie amoniaku sa táto koncentrácia začala radikálne zvyšovať. Prvých 12 hodín koncentrácia vzrastala pomaly po desatinách ppm, no prvé výrazné skoky hodnôt koncentrácie amoniaku boli zaznamenané senzorom 15 hodín od počiatku experimentu.

21 hodín od počiatku experimentu vzorka vydávala veľmi silný hnilobný zápach, ktorý bolo možné poznať aj cez uzavretú nádobu. 20 – 24 hodín po započatí experimentu boli zaznamenané najvýraznejšie zmeny v koncentrácii amoniaku, kedy sa podľa nameraných hodnôt nárast koncentrácie amoniaku zväčšoval dvojnásobne.

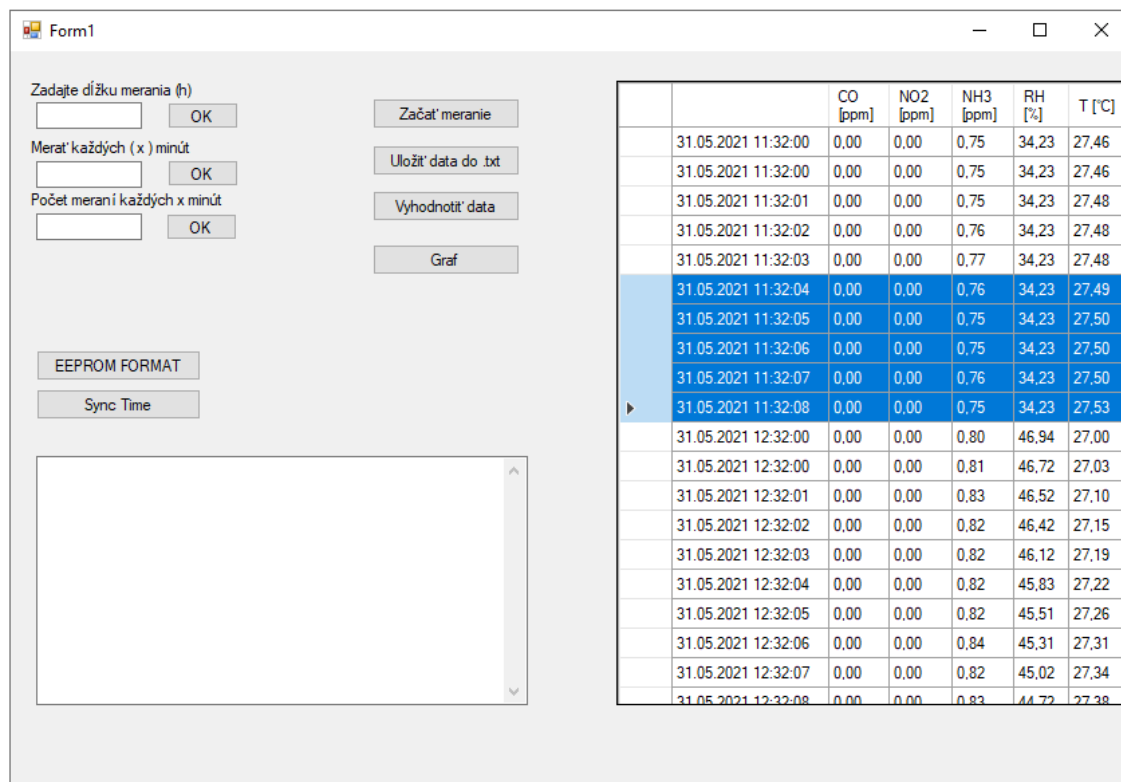
Zmeny zápachu vydaného vzorkou boli pri týchto koncentráciách ďalej nedetekovateľné ľudským čuchom.

Tabuľka 7: Prehľad výsledkov merania senzorovým tagom

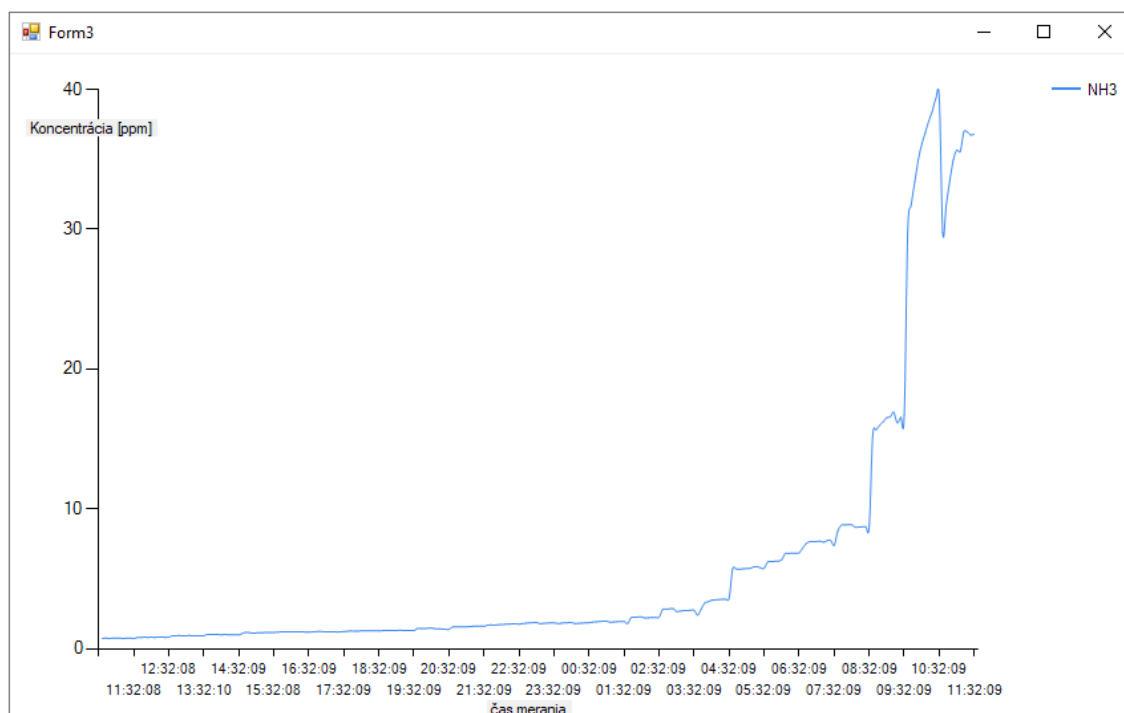
	Čas merania	Senzorické vlastnosti vzorky		C _{NH3} [ppm]
		Kontrola pachu	Kontrola textúry	
31.05.2021	11:30	bez akéhokoľvek zápachu	rúžová farba	0,755
	12:30	bez zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	0,821
	13:30	bez zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	0,934
	14:30	bez zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	1,014
	15:30	bez zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	1,148
	16:30	bez zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	1,207
	17:30	vzorka nadobudla veľmi jemný "mliečny" pach	bez zmeny od pred. merania	1,220
	18:30	bez výraznej zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	1,277
	19:30	zápach je výraznejší	bez zmeny od pred. merania	1,311
	20:30	bez výraznej zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	1,437
	21:30	bez výraznej zmeny od pred. merania	farba vzorky stratila sýtosť, vzorka oslizla	1,588
	22:30	bez výraznej zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	1,740
	23:30	zápach je výraznejší	bez zmeny od pred. merania	1,840
01.06.2021	0:30	bez zmeny od predošlého merania	vzorka sa mierne zmrštila, viditeľné osliznutie	1,840
	1:30			1,940
	2:30			2,198
	3:30			2,770
	4:30			3,308
	5:30			5,757
	6:30			6,550
	7:30			7,594
	8:30	vzorka nadobudla špecifický zápach - je veľmi výrazný a silný	Vzorka nadobudla mierne žltkastú farbu	8,745
	9:30	bez zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	16,250
	10:30	bez zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	35,758
	11:30	bez zmeny od pred. merania	bez zmeny od pred. merania	34,750

Po domeraní sa senzorový tag odstránil z experimentálnej nádoby a následne sa z neho uložené namerané hodnoty exportovali do PC. Namerané hodnoty sa uložili do tabuľky navrhnutého softvéru a na záver sa hodnoty vyniesli do grafu.

Tabuľka s uloženými hodnotami je znázornená v rozhraní softvéru na obrázku 38 a závislosť zmeny koncentrácie na čase je znázornená v rozhraní softvéru na obrázku 39.



Obrázok 38: Namerané dáta uložené v tabuľke navrhnutého softvéru



Obrázok 39: Namerané dáta koncentrácie NH3 vynesené do závislosti na čase

9. ZÁVER

Záverečná práca pojednáva o správnej výrobnjej praxi potravín, faktoroch ovplyvňujúcich zdravotnú nezávadnosť a trvanlivosť potravín a v ďalšej časti sa práca venuje aplikácií senzorov a technológií na správnu výrobnú prax. Práca taktiež v rozsiahlej miere oboznamuje so štruktúrou mäsa, priebehmi procesov pri jeho kazení a procesmi skladovania a ošetrovania pre predĺženie jeho trvanlivosti.

Na základe týchto poznatkov bola navrhnutá doska plošných spojov osadená mikrokontrolérom rady ESP32, vlastným zdrojom napájania a senzormi mics-6814 pre snímanie koncentrácie amoniaku a HDC1080 pre snímanie teploty a relatívnej vlhkosti prostredia.

Návrh firmvéru rieši možnosť komunikácie s mobilným zariadením alebo PC, konfigurácie senzorového tagu mobilným zariadením alebo cez PC a ukladanie a odosielanie nameraných dát.

Funkčnosť návrhu zariadenia bola preukázaná experimentom. Experiment prebehol úspešne a podľa očakávaní. Senzorový tag sa správne nastavil podľa navrhnutého firmvéru a hodnoty bol schopný namerať, uložiť a odoslať pre ďalšie spracovanie podľa nastavení užívateľa. Navrhnutý softvér umožňuje dáta vyhodnotiť do tabuľky a taktiež ich graficky znázorniť.

Ikeď sa návrh preukázal ako funkčný, predstavuje niekoľko nedostatkov ktoré by bolo vhodné odstrániť. Jednu nevýhodu predstavuje senzor MiCS-6814, ktorý sa musí dlhú dobu zahrievať. Tým sa predlžuje potreba mikrokontroléru zotrvať v aktívnom režime, čo predstavuje záťaž pre zdroj napájania. Pre teplejšie prostredia sa hodnota odporu senzoru ustáli za cca 2 – 3 minúty. Tu vzniká problém pri využití v reálnej aplikácii pri práci pri rôznych teplotách. Problém by sa dal riešiť jednoduchým navrhnutím a integráciou kódu, ktorý by získal dáta teploty senzoru HDC1080, a podľa toho, do ktorého intervalu hodnôt nameraná teplota spadá, by sa nastavila doba zahrievania a zapísala by sa príslušná predefinovaná hodnota R_0 , s ktorou by ďalej prebiehali výpočty. Tento nedostatok je vidno na obrázku 39, kedy sa senzor nestihol zcela ustáliť, čo spôsobilo že sa hodnoty koncentrácie NH_3 nesprávne prepočítali, čo malo za následok odchylku od trendu. Z toho dôvodu pripadá v úvahu buď výmena analógového senzoru za digitálnu variantu, ktorá by umožnila získanie presnejších hodnôt za rýchlejšiu dobu, uľahčila by kódovanie, čím by sa výrazne znížila záťaž pamäte pre firmvér mikrokontroléru, ktorá by sa dala využiť pre rozšírenie aplikácie, alebo by sa musel návrh upraviť so zmenou zdroja napájania, nakoľko tento zdroj zvládne len kratšie doby merania. Súčasný zdroj napájania predstavuje dobíjacia batéria o menšej kapacite 120 mAh, ktorá bola zvolená z dôvodu veľkej nedostupnosti alternatív na trhu.

Senzor pre snímanie vlhkosti HDC1080 bol umiestnený na okraj DPS a doska bola v okolí jeho footprintu frézovaná, no napriek tomu zachytáva teplo odvádzane doskou, čo mierne skresľuje namerané hodnoty teploty okolia.

I napriek menším nedostatkom, ktoré sa dajú odstrániť, je realizovaný návrh ako celok plne funkčný a nielenže svoj účel splňuje v maximálnom rozsahu požiadavkov zadania záverečnej práce, ponúka aj možnosti ako zobrazovanie a vyhodnocovanie nameraných dát, ktoré predstavujú podstatné rozšírenie tejto aplikácie.

Navrhnutím púzdra a systému pre diaľkové zobrazovanie a vyhodnocovanie nameraných dát by bolo zariadenie pripravené pre použitie v praxi.

LITERATÚRA

- [1] eAGRI. *Průručka správné hygienické a výrobní praxe při výrobě lahůdek* [online]. [cit. 17.10.2020]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/mze/potraviny/hygiena-potravin-a-haACP/spravna-hygienicka-a-vyrobní-praxe/prirucka-spravne-vyrobní-a-hygienicke-2.html?fbclid=IwAR0zTt5Zo_OnntpG3sa_fWxsdR8o22_THmBtDyoDsv3l_f_ssN7TcE9XbEY
- [2] Y. Mengyao, G. Rami, K. Petros, H. Hadi *Flexible RFID Patch for Food Spoilage Monitoring* 2018 IEEE Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics (PrimeAsia), Chengdu, 2018, pp. 68-71, doi: 10.1109/PRIMEASIA.2018.8598134.
- [3] Informační centrum bezpečnosti potravin. *Hygienická praxe* [online]. [cit. 20.10.2020]. Dostupné z <https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/76614.aspx>
- [4] Wikipedie. *HACCP* [online]. [cit. 20.10.2020]. Dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/HACCP>
- [5] Věstník Ministerstva zemědělství ČR 2/2010 *Všeobecné požadavky na systém analýzy nebezpečí a stanovení kritických kontrolních bodů (HACCP) a podmínky pro jeho certifikaci*. [online]. Praha 2010 [cit. 20.10.2020]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/106403/_2010_2.pdf
- [6] L. Lagin. *Technológia masa II.* [výukový materiál]. Slovenska Poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Nitra 2006.
- [7] Masláková E. *Súčasný trendy v balení čerstvého mäsa a rýb*. Zlín 2014. Bakalárska práca. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
- [8] Texas A&M AGRILIFE EXTENSION *Introduction to the Microbiology of Food* [online]. [cit. 01.11.2020]. Dostupné z <https://aggie-horticulture.tamu.edu/food-technology/food-processing-entrepreneurs/microbiology-of-food/>
- [9] ROBIN, Raju, BRIDGES, Greg E., BHADRA, Sharmistha, *Wireless passive sensors for food quality monitoring. IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION MAGAZINE*. OCT 2020, vol. 62, i. 5, p. 76-89, ISSN 1045-9243

- [10] SAYED, Anum Z., YASHA, Nazir B., SITARA, Nasar, SADIA, Akram, QINDEEL, Fatima, JANNAT, Ikram, Food packaging in perspective of microbial activity: a review. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2016
- [11] INDUSTRIAL SCIENTIFIC. ELECTROCHEMICAL SENSORS *General Gas Education* [online]. [cit. 03.11.2020] Dostupné z <https://www.indsci.com/en/training/general-gas-education/electrochemical-sensors/>
- [12] Janošíková P. *Program pro analýzu u pachů pro jednoduchý elektronický nos* BRNO 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Ing. Martin Adámek, Ph.D.
- [13] HAMAN, Martin. *Inteligentní elektroměr*. Brno 2020, 66 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.
- [14] Espressif Systems [online katalógový list] Copyright © 2020 *ESP32 Series* [cit. 13.12.2020]. Dostupné z: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [15] Pájeníčko.cz *Modul ESP32-WROOM-32 s Wi-Fi, Bluetooth a BLE (3.3V/4MB FLASH/240MHZ)* [online]. [cit. 13.12.2020] Dostupné z: <https://pajenicko.cz/modul-esp32-wroom-32-s-wi-fi-bluetooth-ble-3-3v-4mb-flash-240mhz>
- [16] Pájeníčko.cz *Modul ESP-12F s mikroprocesorem ESP8266* [online]. [cit. 13.12.2020] Dostupné z: <https://pajenicko.cz/modul-esp32-wroom-32-s-wi-fi-bluetooth-ble-3-3v-4mb-flash-240mhz>
- [17] Wikipedia *Real-time clock* [online]. [cit. 25.5.2021] Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_clock
- [18] Gudino M. *Engineering resources: Basics of analog-to-digital converters*. [online]. [cit. 25.5.2021] Dostupné z: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/engineering-resource-basics-of-analog-to-digital-converters>
- [19] Espressif *Official IoT development framework* [online]. [cit. 30.5.2021] Dostupné z: <https://www.espressif.com/en/products/sdks/esp-idf>

- [20] Texas Instruments *TPS6300x High- effecient single inductor buck-boost converter with 1.8-A switches* [online katalógový list]. [cit. 30.5.2021] Dostupné z:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps63001.pdf?ts=1622384874298&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTPS63001

- [21] Microchip Technology Inc. *Miniature single-cell, fully integrated Li-Ion, Li-Polymer charge management controllers* [online katalógový list]. [cit. 30.5.2021] Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/268/20001984g-846362.pdf>

- [22] Future Technology Devices International *Future Technology Devices International Ltd. FT231X* [online katalógový list]. [cit. 30.5.2021] Dostupné z: https://www.ftdichip.com/old2020/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT231X.pdf

- [23] SGX Sensortech *MiCS-6814* [online katalógový list]. [cit. 30.5.2021] Dostupné z: https://cz.mouser.com/datasheet/2/18/1143_Datasheet-MiCS-6814-rev-8-1144828.pdf

- [24] Texas Instruments *HDC1080 low power, high accuracy digital humidity sensor with temperature sensor* [online katalógový list]. [cit. 30.5.2021] Dostupné z: <https://www.ti.com/document-viewer/HDC1080/datasheet/abstract#SNAS6721270>

- [25] Circuit basics *Basics of the I2C communication protocol* [online]. [cit. 30.5.2021] Dostupné z: <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>

- [26] Last minute engineers *Getting date and time from NTP server with ESP32* [online]. [cit. 30.5.2021] Dostupné z: <https://lastminuteengineers.com/esp32-ntp-server-date-time-tutorial/>

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratky:

HACCP	Hazard Analysis and Critical Points – systém analýzy rizika a stanovenie kritických kontrolných bodov
DDD	Deratizácia, dezinfekcia a dezinfekcia
ATP	Adenozíntrifosfát
pH	Potential of hydrogen – potenciál vodíku
RFID	Radio Frequency Identification – identifikácia na rádiových frekvenciách
TVB-N	Total Volatile Basic Nitrogen – celkový prchavý zásaditý dusík
HF	High Frequency – vysoká frekvencia
UHF	Ultra High Frequency – ultra vysoká frekvencia
NFC	Near Field Communication – komunikácia v blízkom poli
SAW	Surface Acoustic Wave – povrchová akustická vlna
NTC	Negative Temperature Coefficient – záporný teplotný koeficient
SoC	System on Chip – systém na čipe
WiFi	Wireless Fidelity – bezdrôtová vernosť
GPIO	General-Purpose Input/Output – univerzálny vstupný/výstupný pin
CPU	Central Processing Unit – centrálna procesorová jednotka
A/D	Analog-to-Digital – Z analógového na digitálny
RTC	Real Time Clock – hodiny reálneho času
ULP	Ultra Low Power – ultra nízky výkon
IDE	Integrated Development Environment – integrované vývojové prostredie
LCD	Liquid Crystal Display – displej z kvapálnych kryštálov
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – Elektricky vymazateľná pamäť iba pre čítanie
3D	Three-dimensional – trojrozmerné
DPS	Doska Plošných Spojov
USB	Universal Serial Bus – univerzálna sériová zbernica
SOT	Small Outline Transistor – malý obrysový tranzistor
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter – univerzálny asynchrónny prijímač-vysielač
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems – mikroelektromechanické systémy
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect – polom riadený tranzistor s hradlom izolovaným oxidom
I ² C	I-squared-C – I na druhú C

SDA	Synchronous Data – synchrónne dáta
SCL	Synchronous Clock – synchrónne hodiny
NTP	Network Time Protocol – Časový protokol siete

Symboly:

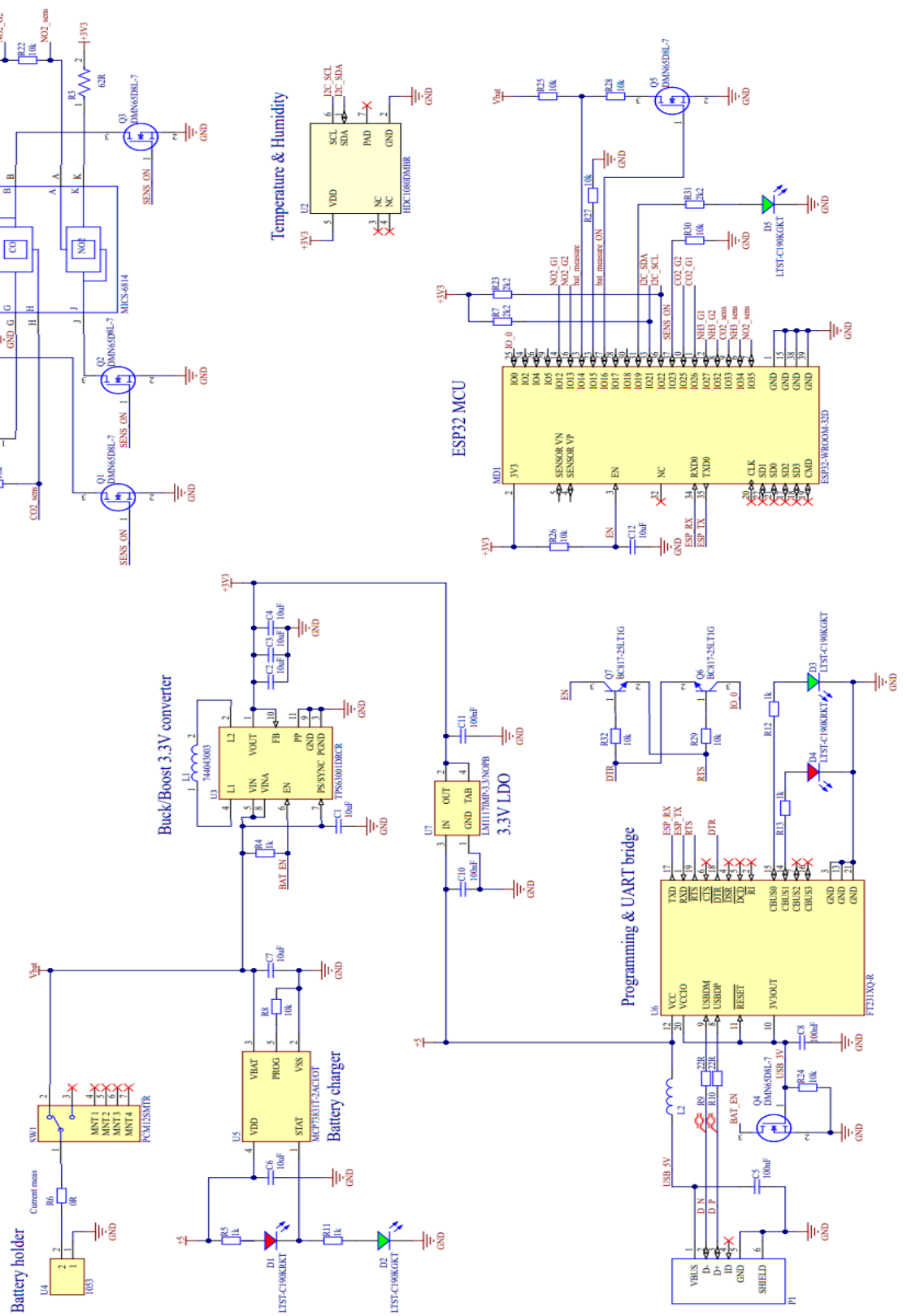
U	napätie	(V)
I	prúd	(A)
R	odpor	(Ω)
f	frekvencia	(Hz)
T	teplota	(°C)
Rh	relatívna vlhkosť	(%)
c	koncentrácia	(ppm)

ZOZNAM PRÍLOH

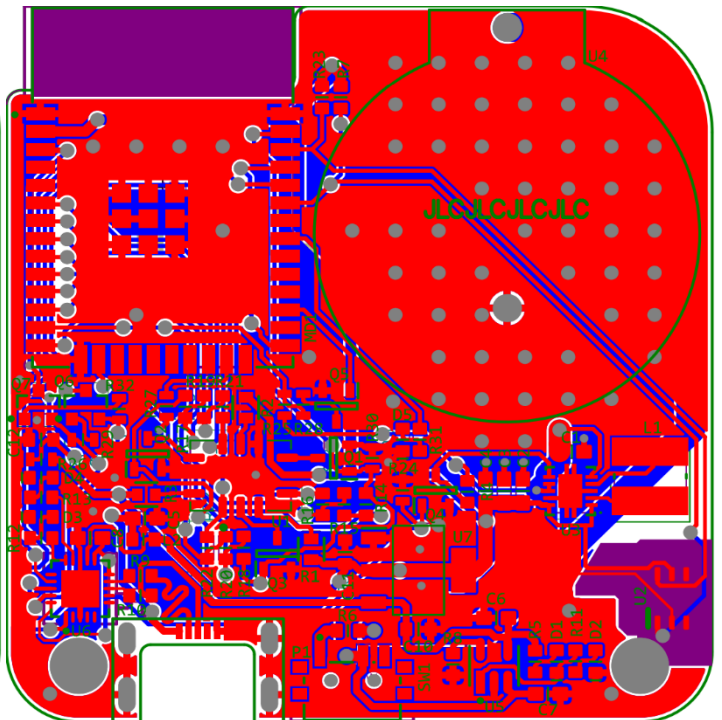
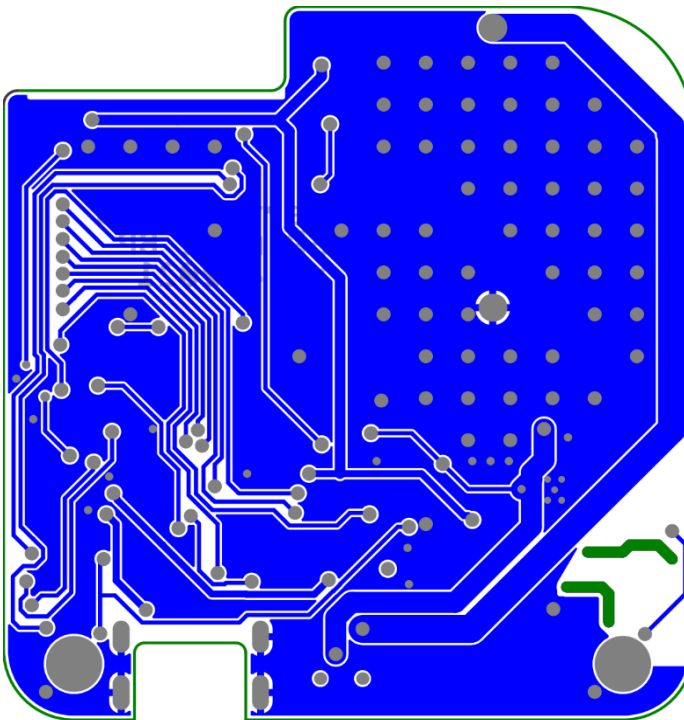
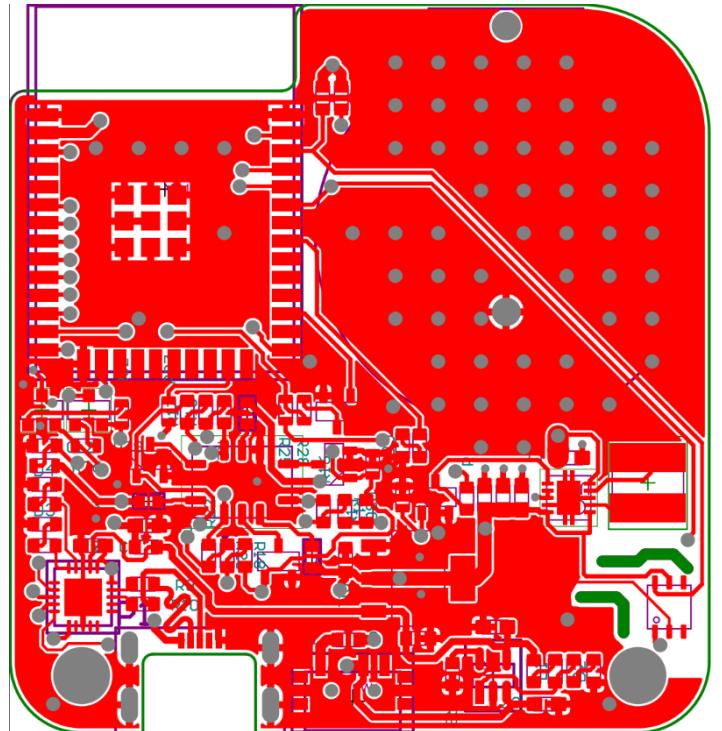
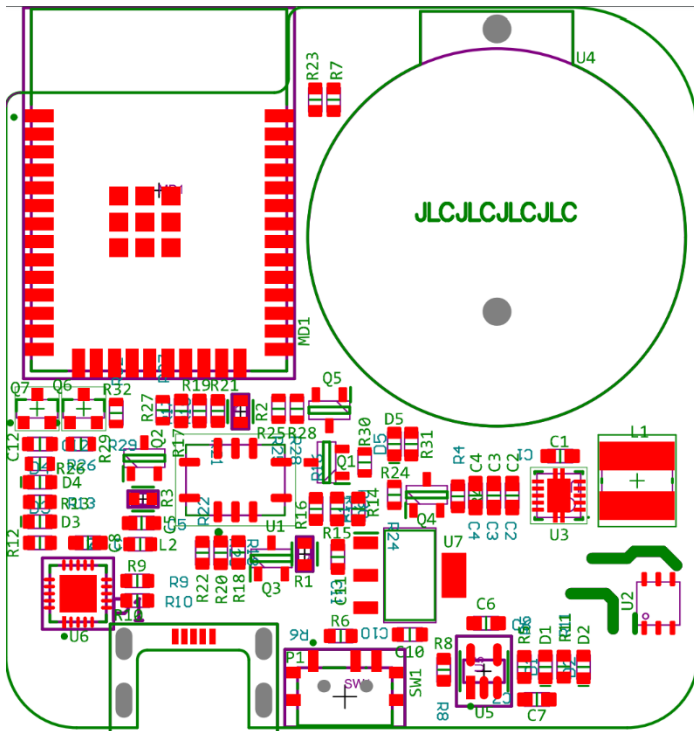
PRÍLOHA A – Návrh senzorového tagu.....	73
PRÍLOHA B – Návrh mobilnej aplikácie.....	76

Příloha A - Návrh senzorového tagu

A.1 Schémy zapojenia



A.2 Vrstvy DPS



Příloha B - Návrh mobilnej aplikácie

